

MSAS 2021

12^e SYMPOSIUM MALIEN SUR LES SCIENCES APPLIQUÉES



Thème général :

**COVID-19: Impacts et défis pour un
développement économique et social au Mali et
en Afrique**

Actes de la conférence

<http://www.msas.ml>

Bamako, 01 au 06 août 2021



Ministère
de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Carisme & Bénévolat
mAliWatch

COMITE LOCAL D'ORGANISATION

Adama TRAORE

Président d'honneur MSAS, Bamako

Oumar BALLO

Bamako

Mardochée BOLI

JSTM, Bamako

Ali BONKANO

Sikasso

Fatoumata CAMARA

Bamako

Hawa CAMARA

Bamako

Massaman CAMARA

Bamako

Adama DEMBELE

Bamako

Sabaké Tianégué DIARRA

IPR/IFRA, Katibougou

Seydou HOUSSOUBA

Bamako

Jean Noel KEITA

Université de Ségou

Amadou KONE

USTTB, Bamako

Assoumane MAIGA

Bamako

Bakary SAKHO

Sakho BECI, Bamako

Aboubacar SAMAKÉ

Bamako

Aboubacar SANGARÉ

Bamako

Mohamed SANGARÉ

Bamako

Youssef SANOGO

Bamako

Fad SEYDOU

MSAS, Bamako

Abdoulaye SIDIBÉ

IPR/IFRA, Katibougou

Mody SOW

Bamako

Mohamed TRAORE

ENI-ABT, Bamako

Sananchi TRAORE

Bamako

COMITE INTERNATIONAL D'ORGANISATION

Diola BAGAYOKO

Southern University, Baton Rouge LA, USA

Jim BARRY

Los Angeles CA, USA

Doulaye DEMBÉLÉ

CNRS-IGBMC, Strasbourg, France

Djouroukoro DIALLO

Bern, Suisse

Abdoulaye DOUCOURÉ

Hollingsworth & Vose – Floyd, Virginia, USA

Mamadou Lamine DOUMBIA

Université du Québec à Trois-Rivières, Canada

Aliou HAIDARA

HCR, Rwanda

Mohomodou HOUSSOUBA

Université de Bâle, Suisse

Fatoumata Bintou KEITA

Toronto, Canada

Harouna MAIGA

Crookston MN, USA

Sengthavy PHOMMIXAY

Université du Québec à Trois-Rivières, Canada

Mahamadou SEYDOU

Université de Paris, France

Aissata SOW THIAM

Washington DC, USA

COMITES D'ORGANISATION DES MINI-SYMPOSIA ET ATELIERS

Mini-symposium : Agriculture

Sabako Tianégué DIARRA
Institut polytechnique rural de Katibougou, Mali

Harouna MAIGA
University of Minnesota, Crookston, USA

Abdoulaye SIDIBE
Institut polytechnique rural de Katibougou, Mali

Mini-symposium : Sciences de l'éducation

Moriké DEMBÉLÉ
Université de Bamako, Mali

Idrissa Soïba TRAORE
Université de Bamako, Mali

Mamadou DIA
ULSHB, Mali

Bahaba COULIBALY
ULSHB, Mali

Alhassane GAOUKOYE
ULSHB, Mali

Workshop : Sciences sociales

Talatou Abdoulaye MAIGA
Utah Valley University, USA

Belko OUOLOGUEM
FSHSE, Mali

Makan SOUMARE
Faculté de Pharmacie, Mali

Workshop : Technologies numériques : enjeux et stratégies pour le Mali

Mohomodou HOUSSOUBA
Université de Bâle, Bâle, Suisse

Assoumane MAIGA,
MSAS, Bamako, Mali

Abdoulaye DIARRA
Montréal, Canada

Mamadou Gouro SIDIBE
Lenali et Association MaliStartUp, Mali

Mini-symposium : Entrepreneuriat et intelligence d'affaires

Abdoulaye DIARRA
Montréal, Canada

Workshop : Mathématiques- Physique-Chimie et Applications

Bréhima DEMBÉLÉ
Pharmacie du Nouveau Pont, Kayes, Mali

Mahamadou SEYDOU
Université de Paris, France

Moussa DIAWARA
Université des Sciences Techniques et Technologies de Bamako, Mali

Abdoulaye SAMAKE
Université des Sciences Techniques et Technologies de Bamako, Mali

Amadou MAHAMANE
Université des Sciences Techniques et Technologies de Bamako, Mali

COMITE TECHNIQUE INTERNATIONAL

Sidy BA, Mali

Diola BAGAYOKO, USA

Jim BARRY, USA

Doulaye DEMBELE, France

Youssef DIABATÉ, USA

Mahamadou DIAGAYETE, Allemagne

Djouroukoro DIALLO, Suisse

Sabaké Tianégué DIARRA, Mali

Hamadou DICKO, France

Abdoulaye DJIDO, Mali

Abdoulaye DOUCOURÉ, USA

Mamadou Lamine DOUMBIA, Canada

Aliou Ousmane HAIDARA, Rwanda

Nouhou HAIDARA, France

Harouna A. MAIGA, USA

Brad K HOUNKPATI, USA

Mohomodou HOUSSOUBA, Suisse

Fatoumata Bintou KEITA, Canada

Amadou KONÉ, Mali

Assoumane MAIGA, Mali

Frédéric OUEDRAOGO, USA

Sengthavy PHOMMIXAY, Canada

Bakary SAKHO, Mali

Fad SEYDOU, Mali

Mahamadou SEYDOU, France

Abdoulaye SIDIBÉ, Mali

Boubacar SIDIBÉ, Canada

Moussa TAMBOURA, Mali

Fatoumata Korika TOUNKARA, Canada

Bocar Ahamadou TOURE, Mali

PARTENAIRES ET SPONSORS

Présidence de la République

Primature

Ministère de l'Enseignement
supérieur et de la Recherche
Scientifique

Ministère de la Défense et des
Anciens Combattants

Ministère des Maliens de
l'Extérieur

Ministère de l'Energie et de
l'Eau

Initiative MaliWatch

Centre National des Œuvres
Universitaires (CENOU)

Université des Lettres et
Sciences Humaines de
Bamako (ULSHB)

Institut Polytechnique Rural
de Formation et de Recherche
Appliquée (IPR/IFRA)

Ecole Nationale d'Ingénieurs
Abderhamane Baba Touré
(ENI-ABT)

Université des Sciences, des
Techniques et des
Technologies de Bamako
(USTTB)

Université de Ségou

Faculté des Sciences et
Techniques de l'USTTB

Direction Nationale des
Examens et Concours
(DNEC)

Centre de Formation pour le
Développement (CFD)

Programme TOKTEN Mali

Agence Malienne de la
Régulation des
Télécommunications et de
Postes (AMRTP)

Agence Malienne de
Radioprotection (AMARAP)

Société malienne de la gestion
de l'eau potable (SOMAGEP)

Agence universitaire de la
Francophonie (AUF)

Journal Scientifique et
Technologique du Mali
(JSTM)

Entreprise SAKHO-BECI

Moov Africa-Malitel

Blue Sky Negoces Mali

Industrie des eaux et jus
d'Afrique

Achcar Mali Industrie

Nouvelle Brasserie Bamakoise

Caltech

Université du Québec à
Trois-Rivières (UQTR)



TABLE DES MATIÈRES

COMITE LOCAL D'ORGANISATION	ii
COMITE INTERNATIONAL D'ORGANISATION	ii
COMITES D'ORGANISATION DES MINI-SYMPOSIA ET ATELIERS	ii
COMITE TECHNIQUE INTERNATIONAL	iii
PARTENAIRES ET SPONSORS	iv
AGRICULTURE	4
Détermination de la valeur alimentaire des graminées fourragères <i>Brachiaria ruziziensis</i> et <i>Andropogon gayanus</i> à partir de leur composition chimique.....	5
Effets de la date de semis et de la dose d'azote sur le rendement grains du blé tendre dans la zone de production de l'Office du Niger, région de Ségou au Mali	14
Comportement de variétés de maïs tolérants à la sécheresse dans les conditions agro-climatiques du cercle de Koulikoro	24
Technique de la reproduction artificielle de <i>Clarias gariepinus</i> en système de circulation continue de l'eau à l'écloserie semi-moderne de l'IPR/IFRA de Katibougou.....	32
Etude comparative de deux sources de fumures phosphatées et quatre doses de fumures azotées en système de riziculture intensif sous irrigation par aspersion dans la zone soudano - sahélienne de Katibougou.....	37
Tests d'efficacité de quelques substrats végétaux dans la production de blanc-mères et de carpophores de 5 souches de champignons sauvages comestibles du Mali	44
Identification des ravageurs et maladies affectant les fruits de jujubier (<i>Ziziphus mauritiana</i> (L.) et tamarinier (<i>Tamarindus indica</i> (L.) à Samanko au Mali	54
Criblage des variétés améliorées de sorgho à double usage sous forte pression artificielle de <i>Colletotrichum sublineolum</i> agent causal de l'anthracnose à la station agronomique de Sotuba	60
Influence de l'association oignon-niébé sur la dynamique des thrips et production de l'oignon dans les conditions agro-écologiques de Katibougou /Mali	66
Introduction du niébé et de la dolique dans les exploitations agricoles pour la production animale en zone péri urbaine de Mopti.....	72
Comparaison des différentes formules de fumures sur deux variétés de blé (<i>Triticum aestivum</i>) dans les conditions agro-climatiques de Katibougou (Koulikoro, Mali).....	80
Inventaire de l'entomofaune du domaine de l'Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) de Katibougou (Koulikoro – Mali)	87
Effet de la provenance des semences sur les paramètres de germination et de croissance de <i>Anacardium occidentale</i> L en pépinière dans les conditions écologiques de la station de l'IPR/IFRA de Katibougou.....	94
Variabilité inter annuelle de la croissance de <i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus, 1758) dans les conditions agro climatiques de Katibougou	101
SOL ET ENVIRONNEMENT	106
Population réinstallée et enjeux fonciers dans la zone du barrage de Manantali au Mali	107

Impacts des intrants chimiques sur la qualité physico-chimique des sols, des eaux de surface et de profondeur en zone rizicole de l'Office du Niger au Mali	117
Erosion hydrique et stratégies de lutte antérosive utilisées par les producteurs dans le cercle de Bla (Mali).....	126
Dynamique des signatures spectrales des formations paysagiques dans le bassin versant de Lotio de 1990-2019.....	133
Recyclage de la grave lateritique lithostabilisée améliorée en émulsion de bitume pour la couche de fondation.....	140
Utilisation des bétons écologiques à base des déchets plastiques pour réaliser un projet d'aménagement intérieur au Mali.....	143
BIOCHIMIE ET BIOTECHNOLOGIE.....	151
Efficacité des traitements de lavage courants pour réduire les niveaux microbiens sur la laitue au Mali	152
Sexe ratio et relation taille poids chez le cichlide <i>tilapia zillii</i> (gervais, 1853) pêché dans le lac de Sélingué au Mali.....	160
Effets des phytohormones sur la production des semences chez <i>ananas comosus</i> merrill var. <i>cayenne</i> par les techniques de culture <i>in vitro</i>	167
Qualité physico-chimique des farines de blé et infantiles réceptionnées au Laboratoire National de la Santé (LNS) de janvier à juin 2020	174
Haematological and Biochemical Blood profile of African catfish <i>Clarias gariepinus</i> Brooders Anaesthetised with Aqueous solution of Clove Bud Powder	180
Preliminary Results of Larvicidal Activity and Phylogenetic Analysis of Two Strains of Bacteria Isolated in the Demba Tiarki Tara Pond in Mali.....	187
Long-term Nitrogen Addition Reduces the Frequency of Inhibitory Phenotypes Among Soil-Borne Actinomycetes in Maize Monocultures.....	195
THEMES DIVERS : COVID-19.....	207
Analyse comparative de l'impact du COVID-19 par branche d'activité des industries au Mali en date du 10 Mars 2021	208
Évaluation de la pratique des mesures barrières contre la Covid 19 : enquête auprès de la population de Bamako.....	219
La pratique sportive à l'épreuve de la pandémie du coronavirus au Mali.....	225
Les mesures barrières de la covid-19 face au secteur de l'hôtellerie dans le district de Bamako au Mali	228
COVID 19 : incidences économiques et sociales et défis posés au gouvernement malien.....	235
Reusable Face Barrier Mask in Cotton: Natural Dye Use to Improve Antibacterial Properties	241
L'impact de la Covid19 sur la formation et le rendement des apprenants de l'enseignement général secondaire, professionnel et technique en fin cycle: cas des écoles au Mali.....	246
Au-delà des sciences et des technologies, un regard métaphasique sur le COVID ?.....	255
Argumentum ad Covidum-19 : Une analyse pilote du discours médiatique malien	260
PHYSIQUE ET SCIENCES APPLIQUEES	281

Analyse des débits d'eau dans le delta intérieur du Niger durant la période 1980-2017 au Mali ...	
282 Estimation du forçage radiatif des aérosols atmosphériques par les mesures photométriques en Afrique de l'Ouest	291
Etude d'une centrale hybride (solaire – éolienne) : Cas de Nana Keniéba au Mali	300
Utilisation des batteries Lithium LiFePO4 pour le stockage stationnaire d'électricité: Etude du cas de l'Afrique tropicale (Bénin).....	306
Analyse de la variation des paramètres météorologiques et de ses influences sur les régimes de vent dans l'est du Niger : cas de N'Guigmi	315
Dimensionnement et optimisation d'un système d'énergie hybride PV-biogaz pour les zones rurales du Mali: cas de Kolokani.....	324
Amélioration de la qualité d'un réseau électrique par correction de déséquilibre de phases par la technique du filtrage actif.....	330
SANTE ET MEDECINE TRADITIONNELLE.....	338
Plantes médicinales utilisées dans le traitement du covid-19 et difficultés d'approvisionnement durant la période du cordon sanitaire au Bénin	339
INFORMATIQUE ET GESTION	349
Caractérisation des entreprises de fabrique de tourteau de coton du Mali	350
Effects of Artisanal Gold-mining Land Uses on Livestock Production in Tangandougou, Sikasso Region, Mali.....	356
Effects of Artisanal Gold-mining Land Uses on Agroforestry in Tangandougou, Sikasso Region, Mali	361
Comparative Analysis of Machine Learning Approaches on Human Activity Recognition (HAR) by Using Cell phone Accelerometer Data.....	367
MATHEMATIQUES	374
Physics in Bra-ket Product	375
The Field ∇ in Bra-ket Product	380
DSS-réduction de bifiltrations d'anneaux et largeur analytique	384
Modélisation et simulation de la qualité de l'air à Bamako	398
Modélisation appliquée à l'épidémiologie du Covid-19 au Mali	406

AGRICULTURE

Détermination de la valeur alimentaire des graminées fourragères *Brachiaria ruziziensis* et *Andropogongayanus* à partir de leur composition chimique

Seydou Sidibé¹, Moussa Tangara², Sékou M. Cissé¹, Oumou Bolly², Seydou Sangaré², Arhamatou M. Maïga¹
¹Institut d'Economie Rural, Laboratoire de Nutrition Animale du Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba

²Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou, Département Elevage
 Email : moussatangara2000@yahoo.fr

RESUME : L'objectif de cette étude est de déterminer la valeur alimentaire de *Brachiaria ruziziensis* *Brachiaria ruziziensis* et d'*Andropogon gayanus* à partir de leur composition chimique. Dix échantillons de ces deux graminées collectés dans les zones périurbaines de Bamako et de Koulikoro ont été analysés au Laboratoire de Nutrition Animale de Sotuba pour déterminer leur teneur en matière sèche, en cendres brutes, en matière azotée totale, en cellulose brute, en matière grasse, en énergie brute, en calcium et en phosphore par les techniques spectroscopiques. La matière azotée digestible, l'unité fourragère et la digestibilité de la matière organique ont été déterminées par la méthode INRA. Les résultats des analyses bromatologiques et nutritionnelles des différents échantillons ont montré que la teneur en matière sèche de *Brachiaria ruziziensis* et celle d'*Andropogon gayanus* sont relativement semblables avec respectivement 93,73 et 92,97%. *Brachiaria ruziziensis* a eu une teneur faible en cellulose brute avec une valeur de 34,62% MS est faible par rapport *Andropogon gayanus* qui a donné une valeur 36,07% MS. Il apparait de cette étude que *Andropogon gayanus* et *Brachiaria ruziziensis* sont deux graminées fourragères comparables de par leur valeur alimentaire sont comparables.

Mots clés : Graminées fourragères, *Brachiaria ruziziensis*, *Andropogon gayanus*, valeur alimentaire composition chimique.

I. INTRODUCTION

L'élevage des ruminants dans la zone soudano-sahélienne est marqué par son mode extensif, basé sur l'utilisation des ressources fourragères, fortement dépendant de l'utilisation des pâturages, des parcours et des jachères. Toutefois, ces ressources pastorales subissent de grandes variations quantitatives et qualitatives en fonction des saisons. Ces variations saisonnières et annuelles du régime alimentaire des animaux de production ont engendré la diminution du disponible fourrager. Cependant, l'alimentation des ruminants s'avère être un facteur limitant à l'amélioration de la productivité des animaux, surtout pendant la période de soudure. Cette insuffisance cruciale des ressources fourragères et alimentaires pendant la saison non pluvieuse demeure le principal facteur limitant pour la semi-intensification des productions animales. Pour pallier le déficit fourrager, la production de fourrages à travers certaines cultures fourragères, telles que : *Brachiaria ruziziensis* et *Andropogon gayanus* a été initiée dans les zones de productions végétales et animales au Mali. Parmi les graminées fourragères, certaines conservent leur biomasse avec des teneurs en substances nutritives de qualité durant une partie de la saison sèche (Bremner et Ridder, 1991 ; Bulgen et Dieng, 1997 ; Torres, 2003 ; Andrioli, 2004). Dans ce contexte, les graminées fourragères pourront occuper une place non négligeable dans l'alimentation du bétail au moment

où la valeur nutritive de l'herbe baisse progressivement. Cependant, il est important de connaître la valeur nutritive des graminées fourragères susceptibles d'être utilisées dans l'alimentation du bétail. L'objectif de cette étude est de déterminer la valeur alimentaire de *Brachiaria ruziziensis* et d'*Andropogon gayanus* à partir de leur composition chimique.

II. MATERIEL ET METHODES

2.1 Matériel

2.1.1 Matériel végétal

Le matériel végétal était de 10 échantillons au total de fourrage, dont 5 échantillons de *Brachiaria ruziziensis* et 5 échantillons d'*Andropogongayanus*. Tous les échantillons ont été collectés dans les zones périurbaines de Bamako et de Koulikoro.

2.1.1.1 *Brachiaria ruziziensis*(BR)

Le Brachiaria ruziziensis est une espèce de graminée d'Afrique tropicale du genre *Brachiaria*. *Brachiaria ruziziensis* se développe en touffes (1 à 1,50m à la floraison) qui s'étalent sur le sol quand il n'est pas coupé, formant un tapis dense. Il résiste à une saison sèche de 5 à 6 mois à condition que la pluviométrie annuelle soit comprise entre 800 et 1800mm (Koffi., 1982 ; Torres, 2003 ; Andrioli, 2004). Le taux de protéines brutes s'élève en moyenne de 7 à 13% mais peut atteindre 20%. La digestibilité de cette

graminée varie entre 50 à 75% en fonction de son stade phénologique (Amaury 1992).

2.1.1.2 *Andropogon gayanus* (AG)

Andropogon gayanus est une graminée fourragère cespiteuse dont les touffes peuvent atteindre 3 m de haut et 1 m de diamètre basal. Elle se trouve très fréquemment dans les savanes marécageuses et herbeuses des basses plaines alluviales (Yoni, 1997). Les expérimentations ont montré une bonne tolérance de cette espèce à la sécheresse, qui est due à sa capacité de s'enraciner profondément et de puiser dans les réserves hydriques du sol (Thomas et al., 1981, Penning de Vries et Djitéye, 1982 ; Breman et Ridder, 1991). En saison pluvieuse, la plante a une forte production et son feuillage demeure vert pendant une bonne partie de la saison sèche (Bulgen et Dieng, 1997).

2.1.2 Matériel technique

Le matériel technique était composé d'une balance électronique (pour la pesée des échantillons), d'une étuve (pour la détermination de la matière), d'un four à moufle (pour la détermination de la cendre), d'un bloc minéralisateur (pour la minéralisation), d'un distillateur d'azote (pour le dosage de l'azote), d'un extracteur de matière grasse (pour la détermination de la matière grasse), d'une pompe à vide (pour la filtration de la cellulose), d'un photomètre à flamme (pour la détermination du calcium), d'un spectrophotomètre (pour le phosphore) et la bombe calorimétrique (pour déterminer l'énergie brute).

2. 2 Méthodes d'analyses

2.2.1 Méthodes d'analyses des échantillons

2.2.1.1 Détermination de la matière sèche (MS)

La teneur en matière sèche (MS) a été déterminée par séchage dans l'étuve à une température de 105°C sur une prise d'essai d'échantillon de 2 g (P₁) placé dans un creuset en porcelaine. Après 4 heures de temps, l'échantillon a été récupéré, refroidi et pesé de nouveau pour déterminer le poids P₂. Le taux de matière sèche a été obtenu par différence de poids entre P₂ et P₁.

2.2.1.2 Détermination de la cendre brute

Après la détermination de la matière sèche, l'échantillon a été calciné dans un four à moufle à 550°C pendant 6 heures de temps. Ensuite, il a été retiré et refroidi dans un dessiccateur avant de déterminer le poids P₃. La différence de poids entre P₃ et P₁ a permis de déterminer la teneur en cendres.

2.2.1.3 Détermination de la cellulose brute (CB)

La cellulose a été déterminée par la méthode de Weende avec deux hydrolyses (acide puis basique). Cela permet la destruction plus ou moins des autres constituants de la paroi cellulosique que sont : les hémicelluloses, la lignine, les tanins, les matières pectiques etc.

Une prise d'essai de 1g est introduite dans des béchers de 600 ml. Ensuite 50 ml de solution d'acide sulfurique à 0,3 N est ajoutée. Les béchers sont ensuite portés à l'ébullition sur une plaque chauffante pendant 30 minutes. Après cette première hydrolyse, on les laisse refroidir pendant 5 minutes puis on y ajoute 25 ml d'une solution de KOH et on les dépose de nouveau sur la plaque chauffante pendant 30 minutes. Après les deux hydrolyses, les échantillons sont filtrés à l'aide d'un système de filtration sous vide et rincés successivement avec de l'eau chaude puis avec d'acide sulfurique à 0,1 N et en fin avec de l'eau chaude.

Le résidu obtenu est séché à l'étuve à 150°C pendant 2 heures puis refroidis dans un dessiccateur et pesé pour avoir le poids P₁. Enfin les résidus sont incinérés dans le four à 700°C pendant 2 heures, refroidis dans le dessiccateur et pesé pour déterminer le poids P₂. La perte de poids résultant de la calcination correspond à la teneur en cellulose brute.

2.2.1.4 Détermination de l'azote

La détermination des MAT a été faite en utilisant la méthode KJELDAHL. Une prise d'essai de 0,3 g a été introduite dans la colonne et minéralisée en ajoutant 12 ml d'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur approprié (K₂SO₄, CuSO₄ × 5H₂SO₄). La minéralisation a été effectuée à l'aide d'un bloc minéralisateur à 420°C pendant 1 heure. Au cours de la minéralisation, l'azote organique transformé en ammonium, après distillation a été recueilli dans une solution d'acide borique mélangée à un indicateur coloré (30 ml). La solution de couleur violette est passée à la coloration verte.

La solution verdâtre a été titrée avec une solution d'acide sulfurique diluée de normalité 0,1 jusqu'à l'obtention de la coloration initiale (violette), puis le volume V d'acide sulfurique qui a conduit au virage a été noté pour déterminer le taux d'azote.

La teneur en protéines a été déterminée selon la formule % P (protéines) = % N x 6,25.

2.2.1.5 Détermination de la matière grasse

Elle a été faite par la méthode de Soxhlet qui consiste à extraire la matière grasse contenue dans l'échantillon à l'aide d'un extracteur en utilisant un solvant. Le ballon vide est préalablement chauffé puis pesé (P₁). Ensuite deux grammes de l'échantillon sont pesés et introduits dans une cartouche bouchée avec du coton, laquelle sera placée dans un extracteur. Ce dernier est placé sur un ballon et relié à un réfrigérant. 200 ml de l'hexane a été versé dans l'extracteur. L'ensemble a été porté à l'ébullition par le système de chauffage. La matière grasse contenue dans l'échantillon a été extraite pendant six heures par le solvant. Après l'extraction, le solvant a été récupéré et la matière grasse restait au fond du ballon. Le ballon a été ensuite placé dans

l'étuve à une température de 80°C pendant une heure pour évaporer le solvant restant. Après, il a été refroidi dans le dessiccateur et pesé pour déterminer le poids P_2 . La différence de poids entre P_2 et P_1 permet de déterminer la teneur en matière grasse.

2.2.1.6 Détermination de l'énergie brute

0,20 à 0,25 grammes de l'échantillon ont été pesés dans un creuset, qui ensuite, a été ensuite placé dans une bombe calorimétrique préalablement chargée d'oxygène médical et placée dans le calorimètre. Après explosion, la quantité de chaleur dégagée lors de la combustion de l'échantillon est directement lisible sur un petit écran en j/g. Pour convertir le résultat en kcal/kg, il a été divisé par 4,18.

2.2.1.7 Détermination du calcium et du phosphore

Le calcium a été déterminé par photométrie à l'aide d'un photomètre à flamme et le phosphore par spectrophotométrie en utilisant le Thermo Scientific Spectronic 33-22-79 spectronic 21.

Le principe consiste à minéraliser l'échantillon avec de l'acide sulfurique concentré et de l'eau oxygénée jusqu'à l'obtention d'une solution claire. Ensuite on procède à la lecture de l'échantillon minéralisé, après avoir calibré l'appareil des solutions filles de concentrations différentes (200 ppm ; 100 ppm ; 50 ppm ; 20 ppm ; 10 ppm), préparées à partir des solutions mères de Calcium et de phosphore.

2.2.1.8 Méthode de détermination de la matière azotée digestible (MAD)

La valeur de la MAD est calculée selon l'équation ci-après de l'INRA (2007).

$$\text{MAD (g/kg MS)} = 9,1 \text{ MAT} - 0,38 \text{ MO (MO et MAT en \% MS)}$$

2.3. Méthodes de calcul de la digestibilité et de la valeur nutritive

La digestibilité et la valeur nutritive (valeur protéinique et valeur énergétique) des trois fourrages

ont été calculées selon les équations de l'INRA (2007).

La digestibilité de la matière organique est déterminée par la formule suivante (INRA 2007).

Digestibilité de la matière organique (dMO).

$$\text{dMO (\%)} = 93,2 - 0,104 \text{ CB} + 0,025 \text{ MAT}$$

Matière azotée digestible (MAD)

$$\text{MAD (g/kg MS)} = 9,1 \text{ MAT} - 0,38 \text{ MO (MO et MAT en \% MS)}$$

Energie digestive (ED)

$$\text{ED} = \text{EB} * \text{dE} / 100, \text{ avec } \text{dE} = 1,055 \text{ DMO} - 6,833$$

Energie métabolisable (EM)

$$\text{EM} = 0,82 \text{ ED}$$

UFL et UFV sont calculées selon la formule suivante de l'INRA (2007).

Unité fourragère lait (UFL)

$$\text{UFL} = 121,80 + 0,11 \text{ MAT} - 1,81 \text{ CB} + 1,26 \text{ MG}$$

Unité fourragère viande (UFV)

$$\text{UFV} = 124,15 + 0,06 \text{ MAT} - 2,20 \text{ CB} + 1,22 \text{ MG}$$

Analyses statistiques

Les données ont été analysées selon la méthode d'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur au seuil de probabilité de 5% à l'aide du logiciel STATA.

III. Résultats

Les résultats des analyses bromatologiques et de la valeur alimentaire des différents échantillons de *Brachiaria ruziziensis* et d'*Andropogon gayanus* obtenus au cours de cette étude sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1: Résultats des analyses bromatologiques et valeur alimentaire des échantillons de *Brachiaria ruziziensis* et d' *Andropogon gayanus*

Nature de l'échantillon	Constituants organiques, % MS					Constituants minéraux, % MS			Valeur énergétique / kg MS					Valeur azotée g/kg MS	DMO, % MS
	MS	MO	CB	MAT	MG	Cendres	Ca	P	EB	ED	EM	UFL	UFV	MAD	DMO
Br 1	98,5	86,74	32,79	5,64	2,13	11,76	0,15	0,3	3701,56	3259,00	2672,38	0,66	0,55	18,36	89,93
BR2	93,15	87,57	40,25	4,68	2,2	5,58	0,05	0,09	3864,03	3369,44	2762,94	0,52	0,39	9,31	89,13
BR3	91,65	83,04	39,87	5,62	1,69	8,61	0,13	0,04	3687,54	3217,99	2638,76	0,52	0,39	19,59	89,19
BR4	92,57	82,4	26,03	9,56	2,56	10,17	0,11	0,43	3086,94	2743,95	2250,04	0,79	0,71	55,68	90,73
Br5	92,8	87,56	34,15	4,56	0,53	5,24	0,08	0,22	3769,61	3312,22	2716,02	0,61	0,50	8,22	89,76
Moyenne	93,734	85,46	34,62	6,01	1,82	8,27	0,10	0,22	3621,94	3180,52	2608,03	0,62	0,51	22,23	89,75
Ecart type	2,72	2,54	5,84	2,05	0,79	2,84	0,04	0,16	307,12	250,59	205,49	0,11	0,13	19,39	0,65
AG1	93,4	88,75	36,76	7,75	2,56	4,65	0,08	1,25	3960,85	3472,24	2847,24	0,59	0,47	36,8	89,57
AG2	91,15	85,83	38,39	5,82	2,13	5,32	0,12	0,37	3960,3	3462,66	2839,38	0,56	0,43	20,35	89,35
AG3	94,98	89,11	39,01	5,81	2,35	5,87	0,09	0,36	4043,58	3532,72	2896,83	0,55	0,42	19,01	89,29
AG4	94,3	81,68	38,76	8,28	1,8	12,62	0,08	0,69	3988,24	3488,06	2860,21	0,55	0,42	44,31	89,38
AG5	91,02	87,29	27,41	7	2,54	3,73	0,15	0,21	3989,12	3537,16	2900,47	0,76	0,67	30,53	90,52
Moyenne	92,97	86,53	36,07	6,93	2,28	6,44	0,10	0,58	3988,42	3498,59	2868,84	0,60	0,48	30,20	89,62
Ecart type	1,81	3,01	4,92	1,12	0,32	3,55	0,03	0,42	33,89	0,18	0,15	1,13	1,14	9,02	92,72

BR : *Brachiaria ruziziensis* ; AG : *Andropogon gayanus* ; MS : matière sèche ; MO : matière organique ; CB : cellulose brute ; MAT : matière azotée totale ; MG : matière grasse ; Ca : calcium ; P : phosphore ; EB : énergie brute ; ED : énergie digestible ; EM : énergie métabolisable ; UFL : unité fourragère lait ; UFV : unité fourragère viande ; MAD : matière azotée digestible ; DMO : digestibilité de la matière organique.

3.1 Teneur en matière sèche

Par rapport à la teneur en matière sèche (figure 2) l'analyse statistique montre des variations aussi bien au sein de la même espèce qu'entre les deux espèces. La moyenne de *Brachiaria ruziziensis* et celle d'*Andropogon gayanus* sont semblables avec respectivement 93,73 et 92,97%.

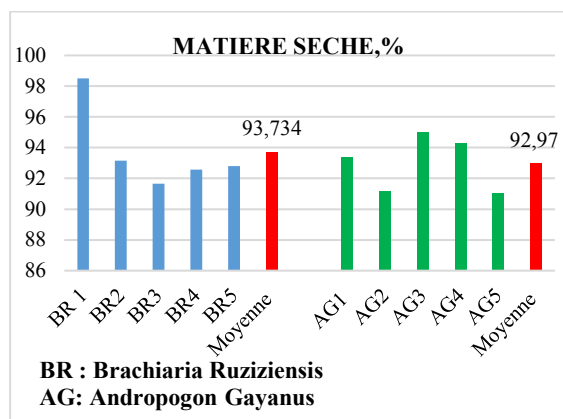


Figure 2 : Teneur en matière sèche

3.2 Teneur en matière organique

Les résultats de la matière organique sont regroupés dans la figure 2. Ils indiquent que la teneur de *Brachiaria ruziziensis* est semblable à celle d'*Andropogon gayanus* avec respectivement 85,46 et 86,53% (figure 3).

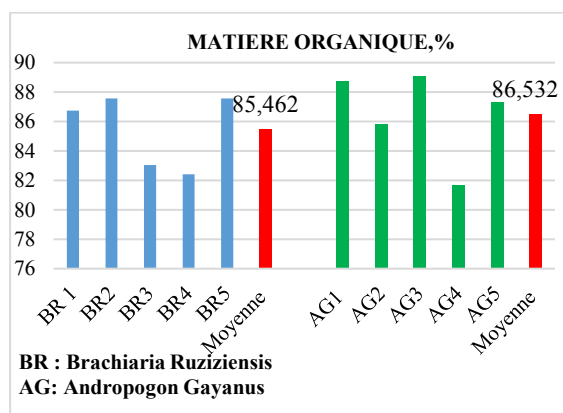


Figure 3 : Teneur en matière organique

3.3 Teneur en cellulose brute

Les résultats montrent une grande variation au sein de la même espèce avec des valeurs comprises entre 26,03 et 40,25%. La moyenne d'*Andropogon gayanus* est légèrement supérieure à celle de *Brachiaria ruziziensis* avec respectivement 36,07 et 34,62% (figure 4).

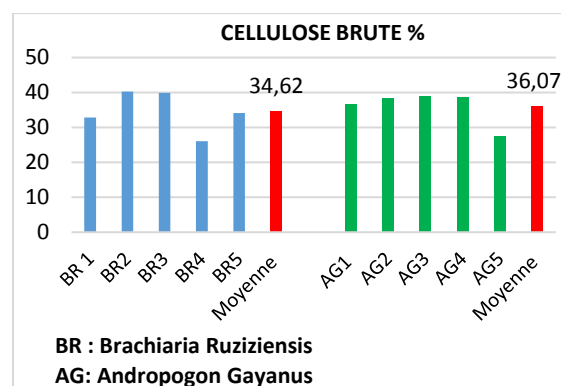


Figure 4 : Teneur en cellulose brute

3.4 Teneur en matière azotée totale

La figure 5 montre des variations tant bien au sein de la même espèce qu'entre les deux espèces. Cependant les moyennes sont semblables avec respectivement 6,02% pour *Brachiaria ruziziensis* et 6,9% pour *Andropogon gayanus*.

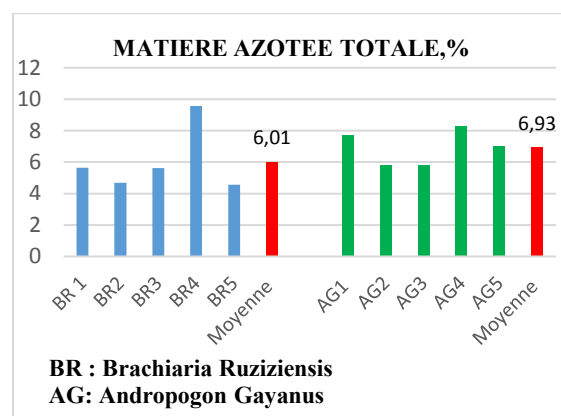


Figure 5 : Teneur en matière azotée totale

3.5 Teneur en matière grasse

Concernant la teneur en matière grasse, les résultats représentés dans la figure 6 indiquent qu'*Andropogon gayanus* avec 2,28% a donné une moyenne légèrement supérieure à *Brachiaria ruziziensis* avec 1,82%.

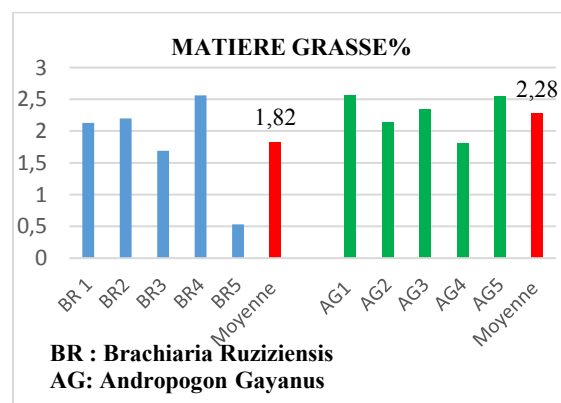


Figure 6 : Teneur en matière grasse

3.6 Teneur en cendre brute

En ce qui concerne la cendre brute, des variations aussi bien au sein de la même espèce qu'entre les deux espèces (figure 7). En moyenne, *Brachiaria ruziziensis* a donné une teneur en cendre brute plus élevée (8,27%) qu'*Andropogon gayanus* (6,44%).

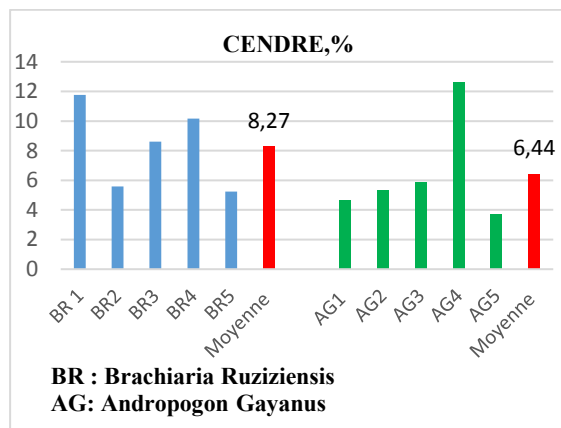


Figure 7 : Teneur en cendre

3.7 Teneur en calcium

Selon la figure 8, *Brachiaria ruziziensis* et *Andropogon gayanus* ont des teneurs identiques en calcium dont la moyenne est 0,10% pour les deux espèces.

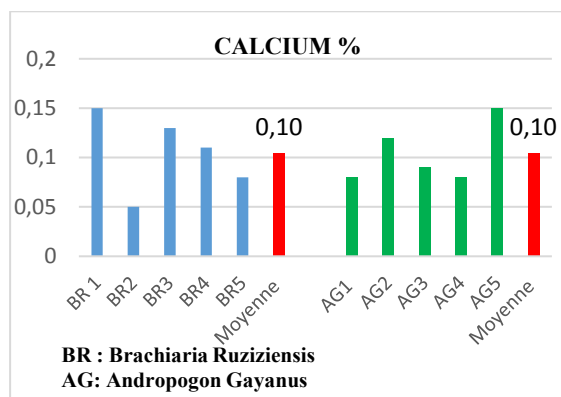


Figure 8 : Teneur en calcium

3.8 Teneur en phosphore

Les résultats montrent une grande variation tant au sein de la même espèce qu'entre les deux espèces (figure 9). *Andropogon gayanus* a donné une moyenne en phosphore (0,58%) presque 3 fois plus élevée que *Brachiaria ruziziensis* (0,22%).

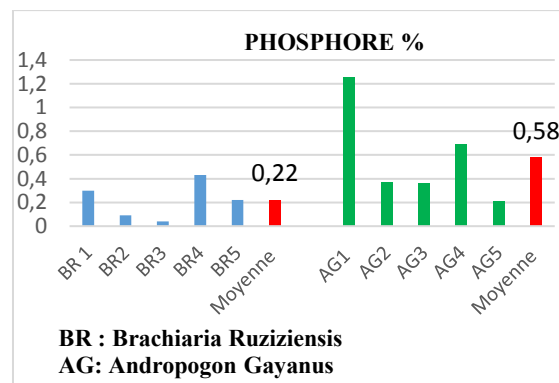


Figure 9 : Teneur en phosphore

3.9 Teneur en énergie brute

La figure 10 montre de légères variations au sein des échantillons de *Brachiaria ruziziensis* contrairement à *Andropogon gayanus*. En moyenne *Andropogon gayanus* avec 3988,42kcal/kg MS contient plus d'énergie que *Brachiaria ruziziensis* avec 3621,94kcal/kg MS.

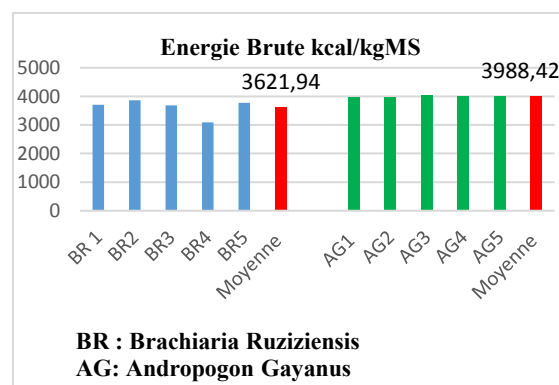


Figure 10 : Teneur en énergie brute

3.10 Teneur en énergie digestible

Les résultats montrent la même tendance observée au niveau de l'énergie brute. *Andropogon gayanus* est plus énergétique que *Brachiaria ruziziensis* avec respectivement 3498,57 et 3180,52kcal/kg MS (figure 11).

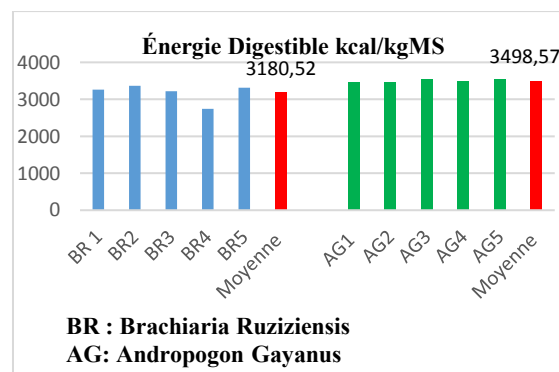


Figure 11 : Teneur en énergie digestible

3.11 Teneur en énergie Métabolisable

De même que l'énergie brute et de l'énergie digestible, la teneur en énergie métabolisable d'*Andropogon gayanus* est supérieure à celle de *Brachiaria ruziziensis* avec des moyennes respectives de 2868,83 et 2608,03kcal/kg MS (figure 12).

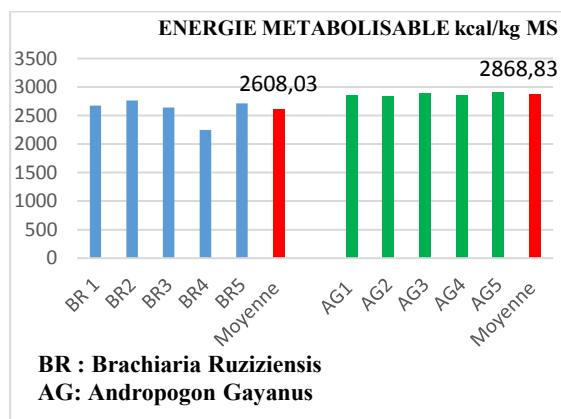


Figure 12 : Teneur en énergie Métabolisable

3.12 Teneur en unité fourragère lait

Par rapport à la teneur en UFL, les deux moyennes obtenues sont presque identiques avec respectivement 0,62UFL/kg pour *Brachiaria ruziziensis* et 0,60UFL/kg pour *Andropogon gayanus* (figure 13).

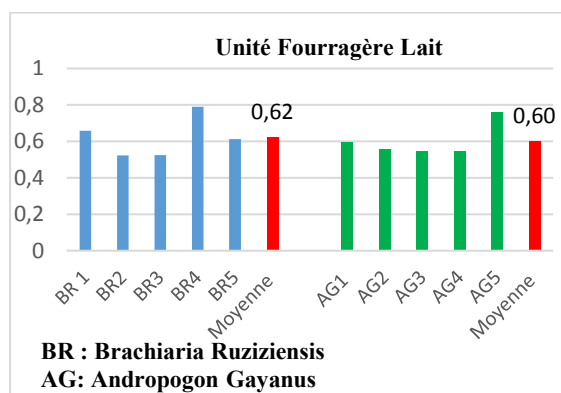


Figure13 : Teneur en unité fourragère lait

3.13 Teneur en unité fourragère viande

De même que la teneur en UFL, les moyennes des teneurs en UFV de *Brachiaria ruziziensis* (0,51UFV/kg) et d'*Andropogon gayanus* (0,48UFV/kg) sont semblables (figure 14).

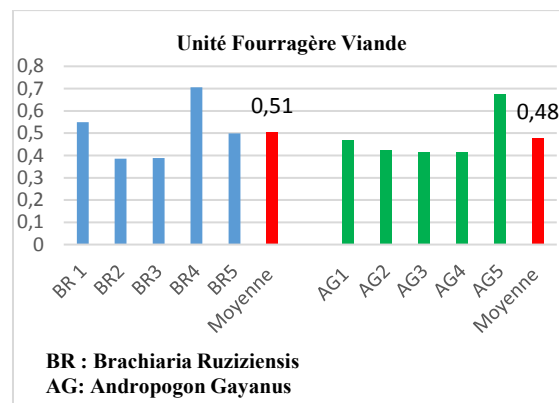


Figure 14 : Teneur en unité fourragère viande

3.14 Teneur en matière azotée digestible

Comme l'indique la figure 15, les résultats par rapport à la teneur en MAD montrent une grande variation aussi bien au sein de la même espèce qu'entre les deux espèces. *Andropogon gayanus* a enregistré une teneur plus élevée de 30,20g/kg MS que *Brachiaria ruziziensis* avec 22,23g/kg MS (figure 15).

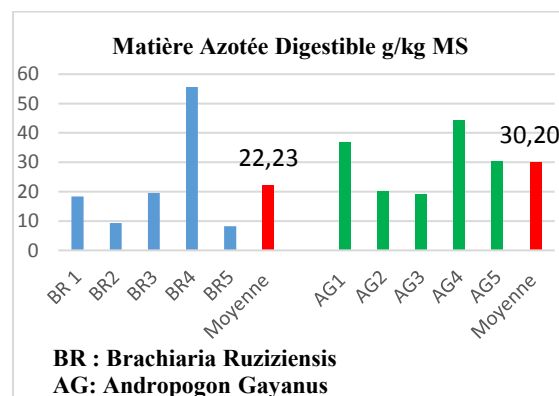


Figure 15 : Teneur en matière azotée digestible

3.15 Digestibilité de la matière organique (DMO)

Les résultats de la DMO montrent que les moyennes des deux graminées sont presque identiques avec respectivement 89,75% pour *Brachiaria ruziziensis* et 89,62% pour *Andropogon gayanus*. Des variations existent tant au sein de la même espèce qu'entre les deux espèces (figure 16).

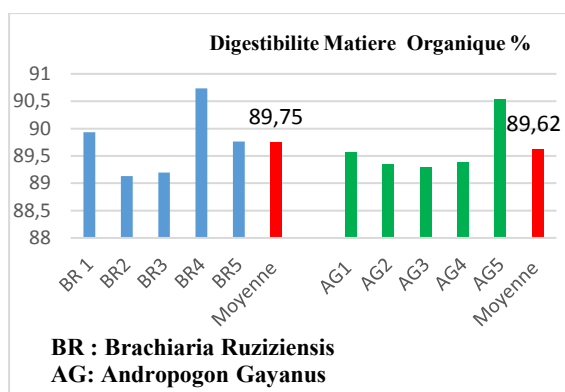


Figure 16 : Digestibilité de la matière organique

IV. DISCUSSION

4.1 *Brachiaria ruziziensis*

Dans la présente étude, la teneur en matière sèche (93,73%) est inférieure à celles rapportées par Diepkilé (1995) qui est de 95,92% et Nantoumé et al (2000) qui est de 96,5%. Elle est supérieure à celles rapportées par Lebas (2009) et Amaury (2010) avec respectivement 22 et 31,8%. La teneur en matière organique obtenue dans cette étude est de 85,46%. Cette valeur est inférieure au résultat de 89,1% rapporté par Lebas (2017). De même, elle est semblable à celle mentionnée (86,8%) par Nantoumé et al (2000).

Par rapport à la cellulose brute, le résultat obtenu (34,62%) est supérieur à ceux obtenus par Lebas (2017) (27%) et Châtaigner et al (2011) (26,8%). Elle est semblable à ceux obtenus (32,8 et 33%) par Amaury (2010).

La teneur en matière azotée totale obtenue (6,01%) est supérieure à celle rapportée (3,65%) par Diepkilé (1995). Toutefois, elle est nettement inférieure à celle trouvée (12,2%) par Châtaigner et al (2011). Par contre, elle est en convergence avec celle indiquée (7,9%) par Amaury (2010).

Dans la présente étude, la matière grasse obtenue (1,82%) est supérieure à celle mentionnée par Diepkilé (1995) qui est de 0,20%. Par ailleurs, elle est semblable à celle de Lebas (2009) qui est de 2%.

Concernant la cendre, le résultat obtenu (8,27%) corrobore celui mentionné par Lebas (2009) avec une valeur de 8,5%. Cependant, la teneur en cendre est inférieure au résultat enregistré par et Châtaigner et al (2011) qui est de 12,8%.

La valeur en calcium obtenue dans cette étude (0,10%) est inférieure à celle rapportée (0,32%) par Diepkilé (1995). Quant au phosphore, la teneur indiquée par la présente étude (0,22%) est comparable à celle citée par Diepkilé (1995) et Nantoumé et al (2000) avec respectivement 0,23% et 0,21%.

4.2 *Andropogon gayanus*

La teneur en matière sèche obtenue dans cette étude (92,97%) est inférieure à celle rapportée par Diepkilé (1995) qui est de 95,15%. Elle est supérieure à celle enregistrée par Lebas (2009) qui variait entre 20 et 28%, ainsi de celle mentionnée par Toleba et al (2009) qui est de 31,5%. La teneur en matière organique enregistrée (86,52%) est inférieure à celle obtenue (91,2%) par Fane (2018). La teneur en cellulose brute trouvée (36,07%) est supérieure à celle obtenue par Toleba et al (2009) qui est de 30,1% et Lebas (2009) qui variait entre 20 et 30%. Cette valeur est inférieure à celle mentionnée par Richard et al (1988) qui est de 42,5%.

Par rapport à la matière azotée totale, la valeur obtenue dans cette étude (6,93%) est supérieure à celle mentionnée par Diepkilé (1995) qui est de 2,77%. Toutefois, elle est semblable à celle mentionnée par Richard et al (1987) et par Lebas (2009) qui sont respectivement 5,4 et 6%.

La teneur en matière grasse obtenue (2,28%) est supérieure à celle obtenue (0,21%) par Diepkilé (1995). Elle est légèrement inférieure à la valeur de 3% rapportée par Lebas (2009).

Pour la cendre brute, la valeur de 6,64% enregistrée dans la présente étude est identique à celle enregistrée (6,06%) par Kaminski et al (2013) Cependant, elle est inférieure à celle obtenue (9%) par Lebas (2009) et semblable à celle rapportée (5,45%) par Diepkilé (1995).

La teneur en calcium enregistrée dans cette étude (0,10%) est inférieure aux résultats obtenus par Diepkilé (1995) et par Richard et al (1988) avec respectivement 0,32 et 2,8%. De même, concernant le phosphore, la valeur obtenue (0,58%) est inférieure à celle rapportée (1,5%) par Richard et al (1987).

Les différences entre les espèces, le stade végétatif au moment de la fauche, le type de sol, les méthodes de conservation des fourrages etc. peuvent être des sources de variations qui affectent la composition chimique du produit.

V. CONCLUSION

Il ressort de cette étude que *Andropogon gayanus* et *Brachiaria ruziziensis* sont deux graminées comparables en ce qui concernent leurs teneurs en matière organique, cellulose brute, matière grasse, phosphore, énergie brute, matière azotée digestible, matière sèche, protéines brutes, matière grasse et en énergie brute. D'un point de vue nutritionnel, l'utilisation de ces deux graminées fourragères peut être une alternative zootechnique importante des systèmes d'alimentation pour amoindrir le stress nutritionnel chez les animaux de production en période de déficit fourrager herbacé. Des études

complémentaires sont nécessaires sur des animaux avec des rations contenant les deux espèces fourragères.

REFERENCE

- Amaury G. 2010 : Etude des apports alimentaires et des possibilités de complémentation minérale de bovins N'Dama sur pâturages artificiels à *Brachiaria*Sp. Au Ranch De Kolo (RDC). 52 p.
- Andrioli I. 2004. Plantas de coberturaem pré-safra à cultura do milhoemplantiodireto, na região de Jaboticabal-SP. Thèse de Doctorat, Université de Sao Paulo, Faculté des sciences agraires (Brésil), 78 p.
- Baumont R., AufrereJ., Niderkom V., Andueza D., Surault F., Peccatte J. R., Delaby L., Pelletier P., 2008 : la diversité spécifique dans le fourrage : conséquences sur la valeur alimentaire 191p.
- Breman, H. & N. de Ridder, 1991. Manuel sur les pâturages des pays sahéliens. Paris, Karthala.
- Buldgen A., Dieng A. (1997). *Andropogon gayanus* var. *bisquamulatus* : une culture fourragère pour les régions tropicales. Gembloux, Belgique : Les Presses agronomiques de Gembloux, 171 p.
- Châtaigner F., Emile J.C., Al Rifai M. Barré, P. 2011. Prédiction de la composition chimique de variétés de sorgho vert par spectrométrie proche infrarouge, fourrages, 206,129-132.
- Diepkile A., 1995 : Tableau de la composition chimique et de la valeur nutritive des aliments du Mali. Mémoire de fin de cycle, IPR/IFRA de Katibougou. 54, 45,48, 56,59, 60p.
- Fane S., 2018 : Détermination de la valeur alimentaire de trois fourrages ligneux (*Pterocarpus erinaceus*, *Pterocarpus lucens* et de *Ficus gnaphalocarpa*) à partir de leurs compositions chimiques. Mémoire de fin de cycle de l'IPR/IFRA de Katibougou. 1p.
- INRA (Institut National de Recherche Agricole) : 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins, Besoins des animaux, Valeur des aliments. Tables INRA 2007 Éditions Quae. Versailles, 307p.
- Kaminski J, Elbehri A et Samaké. M. 2013. Une évaluation des filières du sorgho et du mil au Mali et les implications pour une politique cohérente de développement.419p.
- Koffi E. 1982 : Aperçu sur la culture de trois fourrages : *Brachiaria*, *panicum* et *stylosanthes* : stage effectué au Service d'Expérimentation Biologie.12 P.
- Lebas F 2017 : *Herbe du Congo (Brachiaria ruziziensis)*. Feedipedia, un programme de l'INRAE, du CIRAD, de l'AFZ et de la FAO, 9 P.
- Lebas F, 2009 : Plante tropicales utilisables comme fourrage pour les lapins, 3p.
- Minitab, 2003: Minitab Statistical Software. Data Analysis and Quality Tools, Release 14 for windows. Minitab Inc. State College, Pennsylvania, USA.
- Nantoumé, H., Kouriba, A., Togola, D et Ouologuem., B. 2000. Mesure de la valeur alimentaire de fourrages et de sous-produits utilisés dans l'alimentation des petits ruminants. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays tropicaux*, 53 : 279-284.
- Penning de Vries, F.W.T. et Djitéye M.A., 1982. La productivité des pâturages sahéliens. Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle. Agric. Research Report. 918, Pudoc, Wageningen.
- Richard D., Guerin H et Fall S.T. 1988. Feeds of the dry tropics. In Jarrige R. Ed., Ruminant nutrition: Recommended allowances and feed tables. Paris, France, Inra, p. 325-342.
- Toleba S. S., 2009 : Identification et valeurs nutritionnelles des aliments utilisés en élevage d'aulacodes (*Tryonomys swinderinus*) dans les villes de Cotonou et Porto-Novo au Bénin, 10P.
- TOPALL. O. 1995.L'arbre et l'herbe en zone tropicale humide : gestion des pâturages sur une frontière agricole amazonienne., pp. 260-265. In : « Fertilité du milieu et stratégies paysannes en zone tropicale humide ». Séminaire CIRAD/AGER, Montpellier.
- Torres J.L.R. 2003. Estudo de plantas de cobertura na rotaçãomilho-soja em sistema de plantiodireto no cerrado, na região de Uberaba-MG. Thèse de Doctorat, Université de Sao Paulo, Jaboticabal SP (Brésil), 108 p
- Yoni M., 1997 : Les jachères à *Andropogon gayanus* en savane soudanienne. Influence du sol et des pratiques culturales (cas de bondoukuy Burkina Faso)1
27, 28, 29, 32p.

Effets de la date de semis et de la dose d'azote sur le rendement grains du blé tendre dans la zone de production de l'Office du Niger, région de Ségou au Mali

Hamara DABO*¹, Oumarou GOITA¹, Brehima N'DIAYE⁴, Aliou Dadda MAIGA², Bandiougou DIAWARA¹, Sékou Sala GUINDO³, Dommo TIMBELY², Bakary KOUMA¹

¹Institut d'Economie Rurale, Centre Régional de Recherche Agronomique de Gao

²Institut d'Economie Rurale

³Institut d'Economie Rurale, Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba, laboratoire sol, eau et plantes

⁴Ministère de l'environnement et du développement Durable

*Email : maradx2008@gmail.com/maradx2008@yahoo.fr

RESUME : En zone Office du Niger (ON), la variabilité climatique en fonction des dates de semis et l'utilisation d'une dose d'azote variable ont une part importante dans la variation du rendement grain et ses composantes. Les objectifs de la présente d'étude étaient d'identifier une meilleure période de semis pour le blé et de déterminer la meilleure dose d'azote et leur période d'application. L'expérimentation a été conduite à la Sous Station de Recherche Agronomique (S/SRA) de Kogoni, suivant un dispositif en split plot à trois répétitions, avec deux facteurs d'étude. Les résultats obtenus ont montré que le cycle semis - maturité varie entre 82 et 92 jours. Les doses d'azote n'ont pas eu d'effet sur le cycle semis-maturité du blé. Pour la date de semis, l'effet a été observé sur l'ensemble des trois dates. La dose d'azote et la date de semis ont eu un effet sur le poids de 1000 grains. La dose d'azote n'a pas eu d'effet sur le rendement grain. Cependant la date de semis a eu un très grand effet sur le rendement grains ($p < .001$). L'étude a montré qu'en zone ON, les meilleures dates de semis du blé se situent entre le 25 novembre et le 11 décembre, avec une dose d'urée comprise entre 128 kg.ha⁻¹ et 190 kg.ha⁻¹.

Mots clés: date de semis – *Triticum aestivum* L – Prod – Agro climatique – fertilisation.

ABSTRACT: In the Office du Niger zone (ON), variability in environmental conditions in function of sowing dates and the applying of variable nitrogen rates by farmers played are main sources of variation in crops' grain yield and its components. The goals of this study were to identify the optimum sowing time of wheat in the ON area, to determine the best nitrogen rates and application periods in field. The experiment was carry out at Kogoni Agronomic Station, following a split plot experimental design with three replications, with two study factors, the nitrogen rate and sowing date. The results showed that the growing duration (from sowing to physiological maturity) varies between 82 and 92 days. Nitrogen rate had no effect on the growing duration of wheat, for the date of sowing the effect was observed on all of three dates. The nitrogen rate and sowing date had an effect on the 1000-grain weight. The nitrogen rate had no effect on grain yield. The sowing date had a very significant effect on grain yield ($p < .001$). The study showed that in the ON agro-ecological conditions, the optimum sowing time for wheat range from 25 November and 11 December, with an urea' application rate of 128 kg.ha⁻¹ to 190 kg.ha⁻¹.

Key words: Sowing date -*Triticumaestivum* L - Productivity - Agro-Climatic - fertilization.

I. Introduction

Les céréales occupent à l'échelle mondiale, une place primordiale dans les programmes de recherche agricole [1]. La production mondiale de blé a atteint les 742 millions de tonnes pour la campagne agricole 2016-2017, et sa consommation a été estimée à 730,5 millions de tonnes pendant la même période. Le blé est devenu la deuxième céréale la plus produite au monde, devant le riz et derrière le maïs [14].

L'agriculture, par essence, n'est pas en équilibre écologique avec l'environnement. Ainsi, l'azote (N) naturellement contenu dans les sols ne suffit plus

pour l'obtention de rendements jugés satisfaisants selon le modèle de production intensive [19]. En effet, dans la plupart des agro-écosystèmes, l'azote est considéré comme étant l'un des facteurs limitant le plus, à la croissance des peuplements de végétaux après le déficit en eau [15]. Pour certaines cultures comme le blé panifiable, l'apport d'azote est incontournable afin de permettre une augmentation notable des rendements et l'atteinte d'une qualité de grains nécessaires pour répondre aux exigences des marchés. L'apport excessif d'engrais azotés est associé aux pertes de N dans l'environnement mais aussi aux pertes de rendement et la qualité [6]. La qualité et le rendement sont influencés par de

nombreux facteurs tels que la rotation des cultures, le respect du calendrier agricole, la source d'engrais azotés [24], le temps d'application des engrais [20], ainsi que la texture et le travail du sol [19]. En dehors de la variabilité climatique, la recherche d'itinéraires techniques et des variétés qui s'adaptent mieux aux conditions environnementales, la levée de ces contraintes constitue une alternative qui peut aider à améliorer les rendements grains [9].

La production nationale du blé au Mali de 2000 à 2014, est passée de 6 208 t à 45 668 t [14], soit une progression annuelle de 3262 tonnes, alors que les besoins nationaux sont estimés à 260 000 tonnes par an. En 2015, la production nationale ne représentait que 17,56% des besoins nationaux en blé. Cette faible contribution nationale s'explique en partie par le non-respect du calendrier agricole et la faible productivité du matériel végétal utilisé [17], mais aussi la faible utilisation de la dose d'azote et du non respect des périodes d'applications.

Dans le cadre des activités du projet Soutien à la Recherche Agricole pour le Développement des Cultures Stratégiques en Afrique (SARD-SC-blé) Mali, trois variétés performantes de blé tendre ont été identifiées et proposées à l'inscription au catalogue national des espèces et variétés cultivées au Mali, avec des qualités technologiques très appréciable [10]. IL s'agit des variétés Reyna-28, Norman et Goumaria-3 avec un rendement moyen variant de 4 à 6 t.ha⁻¹. Seule la variété Goumaria-3 a été retenue pour cette étude dans la zone de production de l'Office du Niger durant les deux dernières campagnes du Projet SARD SC blé (2014-2015 et 2015-2016). Cette variété a été choisie pour son cycle intermédiaire, le degré d'adaptabilité et la qualité technologique des grains.

Un nombre important de variétés de blé a été introduit au Mali à la suite de la collaboration entre l'Institut d'Economie Rurale (IER) du Mali à travers le Centre Régional de Recherche Agronomique (CRRRA) de Gao et les institutions internationales de recherche (CIMMYT et ICARDA). Cette collaboration a permis d'élargir la gamme variétale en introduisant les variétés les plus productives avec un rendement potentiel dépassant les 5 t ha⁻¹ et une qualité boulangère très élevée tout en améliorant la production nationale, malgré les conditions difficiles de production.

La détermination de la période de semis et de la dose d'azote peut aider les producteurs à améliorer d'avantage le rendement grain et la qualité technologique des graines. Le présent article traite les résultats obtenus à la sous station de recherche agronomique de Kogoni en zone ON.

II. Matériel et Méthodes

2.1 Site d'étude

L'essai a été conduit dans le site expérimental de la sous station de recherche agronomique de Kogoni (S/SRA) 14°43'20,2" latitude Nord et de 6°01'45,8" de longitude Ouest, dans la zone de production de Kouroumari à l'Office du Niger (ON).

2.2 Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé était constitué d'une variété de blé tendre Goumaria-3.

2.3 Méthode

Le dispositif expérimental utilisé était le split plot à 3 répétitions. Deux facteurs ont fait l'objet d'étude, la dose d'azote (N) et la date de semis (DS).

La dose d'azote était le facteur principal pris à trois niveaux de variation (N60 ; N90 ; N120) et la date de semis comme facteur secondaire pris à trois niveaux de variation (DS1 ; DS2 et DS3).

L'apport d'azote, a été fractionné en trois apports (1/3 à 20 Jours Après Semis [JAS], 1/3 à 40 JAS et 1/3 à 55 JAS) pour toute la dose d'azote.

Les dates de semis retenues étaient : le 25 novembre (DS1), le 11 décembre (DS2) et le 26 décembre (DS3).

La superficie occupée par les traitements du facteur principal était de 50 m² (10mx5m) séparée de 80 cm et les traitements du facteur secondaire occupaient une superficie de 15 m² (5mx3m), séparée de 50 cm. Les blocs sont séparés par une allée de 1 m.

2.3.1 Conduite de l'essai, collecte des données

Avant l'installation, un labour de 20 cm environ a été effectué suivi d'un concassage des mottes et d'un nivellement pour mieux ameublir et préparer le lit de semis. Un épandage de 15 kg de la fumure organique bien décomposée par traitement secondaire (10 t.ha⁻¹) a été fait, suivi de la confection des billons d'une hauteur d'environ 10 cm. Le semis a été effectué sur ces billons en ligne continue à la dose de 0,18 kg par traitement secondaire (120 kg.ha⁻¹) suivi d'une irrigation. L'écartement entre les billons était de 25 cm. Chaque billon constituait une ligne de semis.

La fertilisation minérale a été faite à la dose de 0,15 kg de DAP par traitement secondaire (100 kg.ha⁻¹) au semis. L'azote a été apporté en fonction des niveaux de variation 60N; 90N et 120N.

Les autres opérations culturales comme le désherbage, les irrigations, le gardiennage contre les oiseaux et la lutte contre les rats ont été faite aux besoins. La récolte et le battage ont été effectués manuellement par traitement.

Pour chaque traitement, les données collectées ont porté sur : le cycle semis maturité (CSM), la hauteur des plants à la maturité (HP/cm), le nombre de grains par épis (Nbr G/E), le nombre d'épillets par épis, le poids 1000 grains (Pds 1000 grs/g), le rendement grains (kg.ha⁻¹).

2.3.2 Analyse des données

Toutes les données obtenues ont fait l'objet d'une analyse de variance (ANOVA), avec le logiciel Genstat 12^{ed}, le test de Newman et Keuhl a été utilisé pour la séparation des moyennes au seuil de signification 5 %. Le logiciel R-3.4.3 a été utilisé pour l'analyse en composante principale (ACP) et la corrélation des variables quantitatives.

3. Résultats et discussions

3.1 Effets de la dose d'azote et de la date de semis sur le cycle semis maturité

Les résultats de l'analyse de la variance (ANOVA) des effets de la dose d'azote et de la date de semis sur le cycle semis-maturité sont consignés dans le tableau 1.

L'analyse de la variance a montré que la différence entre les doses d'azote n'est pas significative au seuil de signification 5% ($p=0,064$) pour le cycle semis maturité avec une erreur standard de $\pm 0,602$. Le cycle semis-maturité des différents traitements est compris entre 86 et 88 jours. Par contre la différence entre les dates de semis est très hautement significative au seuil de signification 5% ($p<,001$) avec une erreur standard de $\pm 0,363$. Les dates de semis ont eu un effet considérable sur la variation du cycle semis-maturité avec trois groupes homogènes (tableau 1).

L'interaction entre les doses d'azote et les dates de semis n'est pas significative au seuil de 5% ($p=0,417$). Lorsqu'on compare les moyennes avec le

même niveau des deux facteurs étudiés l'erreur standard est de $\pm 0,629$. La moyenne obtenue pour le cycle semis maturité est de 87 jours qui correspond à la période fraîche dans la zone de production de l'Office du Niger. Cette période s'étale de novembre à début mars avec une très grande variabilité de la température et de la vitesse du vent. Ces résultats concordent avec ceux obtenus par [10] en zone Office du Niger, par [18] dans le cercle de Diré région de Tombouctou. Les résultats obtenus à la 1^{ère} date de semis sont supérieurs à la moyenne générale, plus les semis sont décalés vers la fin du mois de décembre, plus le cycle semis-maturité se raccourcit. Les semis de la 1^{ère} date (précoce) gagnent 8 jours par rapport à la 2^{ème} date et 10 jours par rapport à la 3^{ème} date de semis du point de vue durée du cycle. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par [8] et par [12]. La culture dispose de ce fait plus de temps pour valoriser les conditions offertes par le milieu, et ceci uniquement en absence de facteurs limitant [8]. Ces résultats sont similaires et confortent ceux obtenus par Dabo (2015) (9) sur les variétés de blé tendre en zone Office du Niger. Selon [18] la date optimale de semis, pour obtenir un bon rendement grains de blé tendre, sous irrigation dans la partie nord du Mali, est le semis du mois de novembre. L'évolution ou la variabilité de la température peut influencer la durée du cycle semis maturité dans les différentes zones de production du blé tendre au Mali.

Tableau 1: Analyse de la variance de la date de maturité

Doses d'azote	Dates de semis			Moyennes des doses d'azote
	DS1 (25 Nov.)	DS2 (11 Déc.)	DS3 (26 Déc.)	
N60	92,00	86,00	82,67	86,89
N90	92,00	86,00	84,67	85,56
N120	92,00	87,00	84,00	87,67
SE	$\pm 0,791 (\pm 0,629^*)$			$\pm 0,602$
Moyennes des dates semis	92,00a	86,33b	83,78c	
SE	$\pm 0,363$			
Moyenne Générale	87,37			
Signification				
Doses d'azote	0,646			
Date de semis	<,001			
Dosed'azote*Date de semis	0,417			

DS : date de semis ; N : niveau d'azote ; * : Lorsque l'on compare des moyens avec le même niveau de dates de semis

3.2 Effets de la dose d'azote et de la date de semis sur la hauteur des plants

Les résultats de l'analyse de la variance (Anova) de l'effets de la dose d'azote et de la date de semis sur la hauteur des plants à la maturité sont consignés dans le tableau 2.

L'analyse de la de la dose d'azote sur la variable hauteur des plants n'a pas montré de différence significative au seuil de signification 5% ($p=0,16$) avec une erreur standard de $\pm 1,572$. Pour les dates de

semis, la différence n'est pas significative au seuil de 5% ($p=0,576$) avec une erreur standard de $\pm 1,659$. L'interaction entre les doses d'azote et les dates de semis, n'a pas montré de différence significative au seuil 5% ($p=0,960$) avec une erreur standard de $\pm 2,824$. Les moyennes des différents traitements comparées au(x) même (s) niveau (x) entre elles ont données une erreur standard de $\pm 2,874$. La moyenne générale obtenue est de 63,17 cm.

Ces résultats concordent avec ceux obtenus par [11] sur des différentes variétés de blé tendre dans la zone de production de l'Office du Niger.

Quelles que soient la date de semis et la dose d'azote, il n'y a pas eu d'effet significative sur la hauteur des

plants du blé tendre en zone de production de l'ON. Ces résultats confortent ceux obtenus par [21], mais supérieurs à ceux de [22] dans le site expérimental de Sétif en Algérie.

Tableau 2: Analyse de la variance de la hauteur des plants (cm) à la maturité

Doses d'azote	Dates de semis			Moyennes des doses d'azote
	DS1 (25 Nov.)	DS2 (11 Déc.)	DS3 (26 Déc.)	
N60	64,22	67,89	63,67	65,26
N90	62,89	65,55	64,00	64,15
N120	60,22	60,44	59,67	60,11
SE	±2,824 (±2,874*)			±1,572
Moy DS	62,44	64,63	62,44	
MG	63,17			
SE	±1,659			
Signification				
Doses d'azote	0,162			
DS	0,576			
DN*DS	0,960			

DS : date de semis ; N : niveau d'azote ; * : Lorsque l'on compare des moyens avec le même niveau de dates de semis ; DN*DS : interaction Dose d'azote et date de semis ; MG : Moyenne Générale ; Moy DS : moyenne des dates de semis.

3.3 Effets de la dose d'azote et de la date de semis sur le nombre d'épillets par épis

Les résultats de l'analyse de la variance (Anova) de l'effets des doses d'azote et de la date de semis sur le nombre d'épillets par épis sont consignés dans le tableau 3.

L'analyse de l'effets des doses d'azote sur le nombre d'épillets par épis, n'a pas montré de différences significatives au seuil de signification 5% ($p=0,111$), avec une erreur standard de $\pm 0,128$.

Pour l'effet de la date de semis sur le nombre d'épillets par épis, l'analyse n'a pas montré de

différence significative au seuil de signification 5% ($p=0,359$) avec une erreur standard de $\pm 0,264$.

Pour l'interaction l'analyse n'a pas révélé de différence significative au seuil de signification 5% ($p=0,961$) avec une erreur standard de $\pm 0,395$. Les moyennes des différents traitements comparés entre eux au (x) même niveau ont donné une erreur standard de $\pm 0,458$. La moyenne générale obtenue était de 8 épillets par rangées d'épis.

Ces résultats concordent avec ceux obtenus par [11] sur les différentes variétés de blé tendre dans la zone de production de l'ON.

Tableau 3 : Analyse de la variance du nombre d'épillets par épis

Doses d'azote	Dates de semis			Moyennes des doses d'azote
	DS1 (25 Nov.)	DS2 (11 Déc.)	DS3 (26 Déc.)	
N60	8,00	8,67	8,33	8,33
N90	7,67	8,33	7,67	7,89
N120	7,67	8,00	8,00	7,89
SE	±0,395 (±0,458*)			±0,128
Moy DS	7,78	8,33	8,00	
MG	8,04			
SE	±0,264			
Signification				
Doses d'azote	0,111			
Date de semis	0,359			
DN*DS	0,961			

DS : date de semis ; N : niveau d'azote ; * : Lorsque l'on compare des moyens avec le même niveau de dates de semis ; DN*DS : interaction Dose d'azote et date de semis ; MG : Moyenne Générale ; Moy DS : moyenne des dates de semis.

3.4 Effet des doses d'azote et des dates de semis sur le nombre de grains par épis

Les résultats de l'analyse de la variance (Anova) de l'effets des dose d'azote et des dates de semis sur le

nombre de grains par épis sont consignés dans le tableau 4.

L'analyse de l'effets de la dose d'azote sur le nombre de grains par épis n'a pas montré de différence significative au seuil de signification 5% ($p=0,843$) avec une erreur standard de $\pm 3,161$.

Pour les effets des dates de semis sur le nombre de grains par épis, l'analyse de variance a montré une différence très hautement significative au seuil de signification 5% ($p < .001$) avec une erreur standard de $\pm 1,486$, deux groupes homogènes ont été observés.

L'interaction n'a pas montré de différence significative au seuil de signification 5% ($p = 0,333$) avec une erreur standard de $\pm 3,796$. Une comparaison des moyennes avec le même niveau des facteurs étudiés, a eux une erreur standard de $\pm 2,574$. La moyenne générale obtenue était de 42 grains par épis.

Pour la date de semis, deux groupes homogènes ont été observés.

Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par [9] et [11] sur les variétés de blé tendre en zone Office du Niger qui étaient de 41,17 grains par épis. Ces résultats sont identiques à ceux obtenus par [18].

[5] constatent que le nombre de grains par épis varie en fonction des variétés et des dates de semis. Ces résultats corroborent les résultats obtenus qui confirment l'influence de la date de semis sur le nombre de grains par épis. Gate P [16], souligne qu'une carence en azote aux alentours de la fécondation réduit le nombre de grains par épis, ces résultats confortent les résultats obtenus dans la zone Office du Niger et déterminent la nécessité de fractionner la dose d'azote.

Tableau 4 : Analyse de variance du nombre de grains par épis

Doses d'azote	Dates de semis			Moyennes des doses d'azote
	DS1 (25 Nov.)	DS2 (11 Déc.)	DS3 (26 Déc.)	
N60	43,11	37,44	48,67	43,07
N90	44,33	32,22	44,67	40,41
N120	48,00	31,11	45,67	41,59
SE	$\pm 3,796 (\pm 2,574^*)$			$\pm 3,161$
Moy DS	45,15a	33,59b	46,33a	
MG				41,69
SE				$\pm 1,486$
Signification				
DN				0,843
DS				<.001
DN*DS				0,333

DS : date de semis ; N : niveau d'azote ; * : Lorsque l'on compare des moyens avec le même niveau de dates de semis ; DN*DS : interaction Dose d'azote et date de semis

MG : Moyenne Générale ; Moy DS : moyenne des dates de semis.

3.5 Effets des doses d'azote et des dates de semis sur le poids 1000 grains

Les résultats de l'analyse de variance (Anova) de l'effet de la dose d'azote et de la date de semis sur le poids 1000 grains sont consignés dans le tableau 5.

L'analyse de variance des effets des doses d'azote sur le poids 1000 grains a montré une différence hautement significative au seuil de signification 5% ($p = 0,011$) avec une erreur standard de $\pm 0,540$.

Pour les effets des dates de semis sur le poids 1000 grains, l'analyse de variance a montré une différence significative au seuil de signification 5% ($p = 0,024$) avec une erreur standard de $\pm 0,872$.

Pour l'interaction entre les effets des dose d'azote et des dates de semis, l'analyse n'a pas montré de différence significative au seuil de signification 5%

($p = 0,756$) avec une erreur standard de $\pm 1,346$. Lorsque l'on compare les moyennes avec le (s) même (s) niveau (x) les deux facteurs étudiés, l'erreur standard obtenue est de $\pm 1,510$. La moyenne générale enregistrée est de 35,71 g.

Les doses d'azote et les dates de semis ont eu un effet sur le poids 1000 grains avec trois groupes homogènes chacun.

Les moyennes obtenues par les doses N60 et N90 sont supérieures à la moyenne générale obtenue. La dose d'azote a une influence sur le poids 1000 grains à condition qu'elle soit appliquée conformément aux périodes indiquées.

La date de semis a une influence légère sur le poids 1000 grains, en effet les moyennes obtenues pour la 1^{ère} et la 2^{ème} date sont supérieures à la moyenne générale, celle de la 3^{ème} date est inférieure à la moyenne générale. Ces résultats sont contraires à ceux obtenus par [8], mais confirment ceux obtenus par [18] et par [9].

Selon Gate (1995), les déficits hydriques intervenant au cours de la montaison peuvent engendrer des diminutions du poids de 1000 grains. En zone ON, la culture du blé s'effectue sous irrigation donc une attention particulière doit être apportée pour les apports d'eau pendant cette période de montaison afin d'assurer un bon développement de la plante.

Une insuffisance d'eau après floraison combinée aux températures élevées entraînent une diminution de

pois 1000 grains (Benbelkacem & Kellou, 2000) (3).

Tableau 5 : Analyse de la variance du poids 1000 grains

Doses d'azote	Dates de semis			Moyennes des doses d'azote
	DS1 (25 Nov.)	DS2 (11 Déc.)	DS3 (26 Déc.)	
N60	38,83	37,60	37,07	37,83b
N90	38,00	36,13	33,70	35,94ab
N120	36,23	33,43	30,43	33,37a
SE		±1,346 (±1,510*)		±0,540
Moy DS	37,69a	35,72ab	33,73b	
MG			35,71	
SE			±0,872	
Signification				
DN			0,011	
DS			0,024	
DN*DS			0,756	

DS : date de semis ; N : niveau d'azote ; * : Lorsque l'on compare des moyens avec le même niveau de dates de semis ; DN*DS : interaction Dose d'azote et date de semis

MG : Moyenne Générale ; Moy DS : moyenne des dates de semis.

3.6 Effets des doses d'azote et des dates semis sur le rendement grains

Les résultats de l'analyse de la variance (Anova) des effets des dose d'azote et des dates de semis sur le rendement grains sont consignés dans le tableau 6.

Les résultats de l'analyse de la variance des effets de la dose d'azote sur le rendement grains n'a pas montré de différence significative au seuil de signification 5% ($p=0,417$) avec une erreur standard de $\pm 345,5$.

Concernant les effets des dates de semis, sur le rendement grains, l'analyse de la variance a montré une différence très hautement significative au seuil de signification 5% ($p<.001$) avec une erreur standard de $\pm 173,5$.

L'interaction n'a pas révélé de différence significative au seuil de 5% ($p=0,132$) avec une erreur standard de $\pm 300,5$. Une comparaison des moyennes entre elles avec le (s) même (s) niveau (x)

des deux facteurs étudiés à donné une valeur de $\pm 423,7$ d'erreur standard et une moyenne générale de 3071,00 kg.ha⁻¹.

Les dates de semis a eu un très grand effet sur le rendement grains avec trois groupes homogènes distincts. Seul la 1^{ère} date de semis (DS1) a eu un rendement moyen largement supérieur à la moyenne générale (MG). Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par [13] sur le blé tendre soumis à une irrigation d'appoint à Oujda au Maroc, mais supérieurs à ceux obtenus par [4], par [19] au Québec et par [2] sur le blé dur sous climat semi-arides en Algérie. Ils sont inférieurs aux résultats obtenus par [23] sur les essais en pots dans les conditions agro écologiques de l'IPR/IFRA de Katibougou au Mali (St.ha⁻¹ en moyenne), mais identiques à ceux obtenus par [9] ; [10] ; [18] (18) et [17] dans la zone de production de l'Office du Niger et dans les périmètres irrigués villageois des régions Nord du Mali.

Tableau 6: Analyse de la variance du rendement grains

Doses d'azote	Dates de semis			Moy des DN
	DS1 (25 Nov.)	DS2 (11 Déc.)	DS3 (26 Déc.)	
N60	5156,00	3022,00	2068,00	3415,00
N90	4558,00	2756,00	1998,00	3104,00
N120	3460,00	2592,00	2028,00	2693,00
SE		±300,5 (±423,7)		±345,5
Moy DS	4391a	2790b	2031c	
MG			3071,00	
SE			±173,5	
Signification				
DN			0,417	
DS			<.001	
DN*DS			0,132	

DS : date de semis ; N : niveau d'azote ; * : Lorsque l'on compare des moyens avec le même niveau de dates de semis ;

DN*DS : interaction Dose d'azote et date de semis

MG : Moyenne Générale ; Moy DS : moyenne des dates de semis.

3.7. Analyse de corrélation des différentes variables quantitatives observés sur le blé tendre

Les résultats d'analyse de corrélation sont consignés dans le tableau 7.

L'analyse a montré un lien fort (91%), entre le rendement grains et le cycle semis maturité, ce lien évolue positivement. Ce lien est très hautement significatif ($p=0,002$) au seuil de signification 5%. L'analyse de corrélation a révélé un lien fort (71%) entre le rendement grains et le poids 1000 grains, ce lien évolue dans le sens positif. Une corrélation hautement significative a été observée entre le rendement grains et le poids 1000 grains ($p=0,010$). Le rendement grains est étroitement dépendant du poids 1000 grains et le cycle semis-maturité dans la zone de production de l'Office du Niger. Ces résultats confortent ceux obtenus par [2] sur les variétés de blé dur en Algérie. La corrélation entre la date de maturité et le poids 1000grains (55 %) n'est

pas significative au seuil de signification 5% ($p=0,183$).

La corrélation entre la hauteur des plants et le nombre de grains par épis est modérée et négative (-55%), non significative au seuil de 5 % (Tableau 8). On peut ainsi dire que, quand le nombre de grains par épis augmente la hauteur des plants diminue, autrement dit les plants plus courts portent plus de grains par épis que les plants plus hauts. Il sera alors plus intéressant de sélectionner des plants courts qui produisent plus de graines que des plants hauts et susceptibles de verse à la maturité, et rendre les opérations de récolte difficiles, entrainer des pertes et une détérioration de la qualité des graines.

Entre la hauteur des plants et le nombre d'épillet par épis l'analyse de la corrélation révèle un lien fort (68 %), mais ce lien n'est pas significatif au seuil de signification 5% ($p=0,127$).

Tableau 7: Corrélation entre les différentes variables

	CSM	PLH_c m	Nb_epl t épis	Nb_grs Epis	Pds_10 00_grs	Rdt_ha -1
CSM	1	-0.35	-0.12	-0.03	0.55	0.911
PLH_cm	-0.35	1	0.687	-0.55	0.33	-0.19
Nb_epl_t_e pis	-0.12	0.687	1	-0.32	0.26	-0.01
Nb_grs_E pis	-0.03	-0.55	-0.32	1	-0.18	-0.18
Pds_1000 _grs	0.556	0.331	0.264	-0.18	1	0.711
Rdt.ha ⁻¹	0.91**	-0.19	-0.01	-0.18	0.7*	1

3.8. Résultats de l'analyse en composante principale (ACP) des variables quantitatives observés sur le blé

Les résultats d'analyse en composante principale (ACP) sont représentés par les graphiques ci-dessous.

La part de l'information expliquée à 49,77 % et 36,98 % respectivement par l'axe 1 et l'axe2 (Fig1) soit 86,75 % du total de l'information. Le plan fourni par les deux (2) axes constitue une base d'interprétation des facteurs, la relation entre ces facteurs et les variables.

Ces résultats confortent les résultats de l'analyse de corrélation (tableau 8). Ils montrent que l'effet de la date de semis sur le rendement grains est un facteur complexe. Le rendement en grains est fortement lié à la stabilité du poids de 1000 grains et du cycle semis-maturité du blé tendre, dans la zone de production de l'ON.

L'axe 1 porte l'information relative à la variation du nombre de grains par épis. L'axe 2 porte l'information liée à la variation du rendement grains, poids 1000 grains, date de maturité, hauteur des

plants, nombre de grains par épis et le nombre d'épillets par épis.

Le cycle semis maturité est fortement lié au rendement grain et aux poids 1000 grains et significativement corrélée. La hauteur des plants et le nombre de grains par épis, s'opposent le long de l'axe (Figure 1 et 3).

La dose N60_2 s'oppose à la dose N120_3, le long des deux l'axes. Cette tendance s'observe également au niveau de la deuxième date de semis et la troisième date de semis. Les doses N60 et N90 à la 1^{ère} date de semis sont relativement plus stables pour le rendement grains et le nombre de grains par épis. A l'inverse la dose N120 à la 2^{ème} date de semis et la dose N90, N60 à la 3^{ème} date de semis sont plus irrégulières dans la production de grains.

La dose d'azote et la date de semis, N60_DS1_DS2 et N90_DS1_DS2 situées près ou non loin du point d'origine, présentent donc une stabilité intermédiaire pour le rendement grains, le poids 1000grains et la date de maturité. Ces résultats concordent avec ceux obtenus par [2].

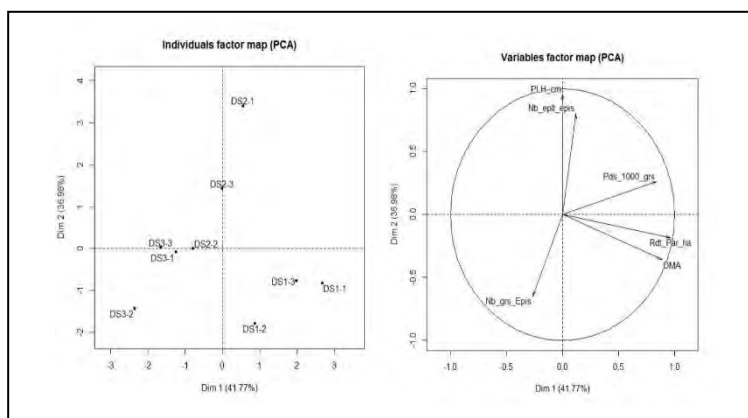


Fig 1: composante principale (ACP) de l'effet de la dose d'azote sur les variables quantitatives du blé tendre.

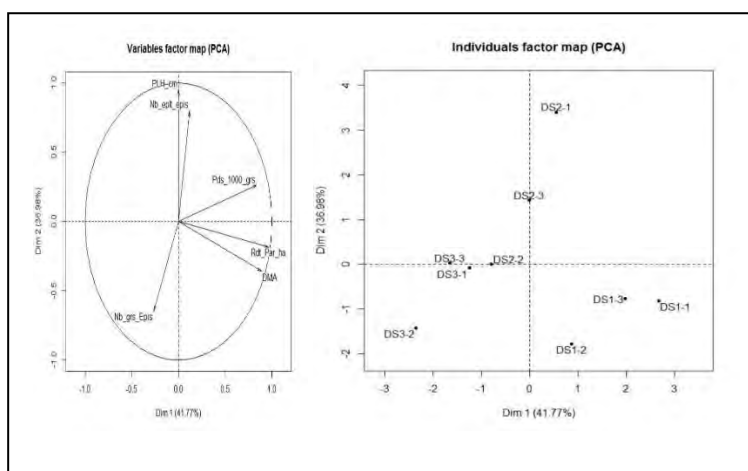


Fig 2 : composante principale (ACP) de l'effet de la date de semis sur les variables quantitatives du blé tendre.

4. Conclusion

Les stress les plus communs dans la zone de production de l'Office du Niger sont le stress thermique et la radiation solaire. Ces stress interviennent le plus souvent en interaction, surtout lors de la phase de croissance des plants et pendant la période de remplissage du grain. Le cycle semis-maturité, le poids 1000 grains et le nombre de grains par épis sont les composantes les plus affectées par ces stress au cours de ces périodes. Les résultats des essais dates de semis ont montré que la date de semis influe sur le cycle semis-maturité, le nombre de grains par épis, le poids 1000 grains et le rendement en grains. Le semis tardif raccourcit les cycles végétatif et reproductif du blé dans la zone de production de ON au Mali.

Les semis du mois de novembre (11 novembre) et du 11 décembre ont obtenu les meilleurs rendements en grains combinés avec la dose d'azote ($60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ et $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Alors nous pouvons retenir que dans la zone de production de l'Office du Niger les périodes de semis du blé se situent entre le 10 novembre et le 15 décembre avec une dose d'azote comprise entre $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ et $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Les résultats de ACP montrent que les rendements en grains du blé sont

beaucoup plus importants et réguliers pour la 1^{ère} et la 2^{ème} date de semis et le rendement est beaucoup plus stable pour ces deux dates. Les doses N120 et N90 pourront présenter une stabilité de rendement en grains du blé dans les différentes zones de production du blé au Mali.

Remerciements

Mes remerciements sont adressés à l'ensemble de l'équipe SARD SC blé Mali, à son coordinateur Africain Salomon ASEFA et au consultant Habibe KETATA tous au bureau de l'ICARDA Tinus qui n'a ménagé aucun effort pour la réalisation des activités dans notre pays. Mes remerciements sont également adressés à la direction de l'Institut d'Economie Rurale (IER) pour leur accompagnement durant les cinq ans du projet. Aux agriculteurs collaborateurs de l'office du Niger et à l'ensemble du personnel de la direction de l'Office du Niger particulièrement la zone de production de N'Debougou, de Molodo, de Niono et de Kouroumari.

Mes remerciements s'adressent également à l'ensemble du comité directeur de MSAS Mali qui nous a permis de communiquer sur au moins trois

thématique exécuté dans le cadre du projet SARD-SC blé Mali.

Références

- [1]. Allah B.H. (2017). Variations phénotypiques pour la tolérance aux stress salin et hydrique chez le blé tendre. Université Mohamed Bouadiab-M'sila (Algérie). Mémoire de Master 2
- [2]. Bahlouli F., Bouzerzour, H., Benmahammed, A. (2004). Etude des mécanismes de stabilité du rendement grain de quelques génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat semi-aride. Ann Faculté des Sciences et d'Ingénieur1 (3) p.1-11.
- [3]. Benbelkacem A, Kellou K. (2000). Evaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*triticum turgidum* L. Var. Durum) cultivées en Algérie In: Roya C. (ed), Nachit M. (ed), Di Fonzo N, (ed), Arauz J.L (ed), Durum wheat improvement in the mediterranean region 40, p.105-110.
- [4]. Bodson B, Massaux C, Lenartz J, Vancutsem F, Sinnaeve G, Dardenne P, Deroanne C, Falisse A, Sindic M. (2006). Influence de la protection fongicide, de la variété et de la date de semis sur les caractéristiques et les propriétés de l'amidon de blé. AFPP_8eme Conference internationale sur les maladies des plantes tours-5 et 6 Decembre 2006.
- [5]. Bouzerzour H. et Benmahammed A. (1995). Analyse graphique d'un croisement diallèle d'orge. Céréaliculture 20, p 9-12.
- [6]. Bundy L G et Andraski T W. (2004). Diagnostic tests for site-specific nitrogen recommendations for winter wheat. J Agro96, p. 608 - 614.
- [7]. Chennafi H., Bouzerzour H., Saci A., et Chenafi A. (2008b). La pratique des façons culturales sur la culture du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en environnement semi-aride. Proceedings of the 5th International Conference on Land Degradation.
- [8]. Chennafi H., Makhlou f M., Ayadi A.L. (2011). Réponse des variétés contrastées de blé dur (*Triticum durum* Desf.) à la date d'implantation sous semis direct en milieu semi-aride. Rencontres Méditerranéennes du Zaragoza. Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens. 9 (6).
- [9]. Dabo, H. (2015). Identification des variétés performantes de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) adaptées aux conditions agro climatiques de la zone Office du Niger Mémoire de fin de cycle Ingénieur Agronome, Institut Polytechnique Rurale de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) de Katibougou-Mali.
- [10]. Dabo H, Goita O, Guindo SS, Niangaly O, Coulibaly M, Timbely D (2016). Contribution à l'identification des nouvelles variétés performantes de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) adaptées aux conditions agro climatiques de la zone Office du Niger, Mali. Afrq Sci (AS), 12 (5) (2016) p. 143-156.
- [11]. Dabo H, Goita O, Guindo SS, Timbely D, Kouma B, Maiga A D. (2018). Caractérisation agro morphologique et l'identification des variétés performantes de blé tendre (*Triticum aestivum*.L) adaptées à la zone de production de l'Office du Niger-Mali. 10ème Symposium des Conférences MSAS_2018 tenue à Bamako-Mali.
- [12]. Decaud J., Meziani L. et Pujol B. (1985). Kinetics of leaf development of a winter wheat during tillering according to sowing date. Comptes rendus de l'Académie des sciences, 3, p. 865 - 868.
- [13]. EL Arbi D, Azzouz B, Miloud K, Nour-Eddine K, Abdelbasset B. (2011). Effet de l'irrigation d'appoint sur le rendement d'une culture de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) (Variété Rajae) au Maroc Oriental. Nature & Tech, 5. p.80-86.
- [14]. FAO. (2015). Faostat data of Food and Agriculture Organization of the United Nations, <http://faostat.fao.org/>. (consulté le 20/12/2017).
- [15]. Gastal F. Lemaire G. (2002). N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. JExpl Bot. 53, p. 789 - 799.
- [16]. Gate .P. (1995). Ecophysiologie du blé. Tec & Doc Lavoisier, juin 1995, EAN13:9782743000462. p.429.
- [17]. Goita O., (2004). Stratégie d'intégration de la culture de blé dans la zone officie du Niger : Institut d'Economie Rurale (IER) Centre Régional de Recherche Agronomique de (CRRRA) de Gao Rapport provisoire.
- [18]. Goita O et Diawara B., (2007). Amélioration des techniques culturales et introduction de variétés de Blé à haute valeur boulangère. 15ème session du comite de programme de l'IER.Rapport final de recherche campagne.
- [19]. Judith N, Athyna NC, Noura Z, Nicolas T, Michel C N. (2012). Effet de la texture et de la fertilisation azotée sur le rendement et la qualité de blé de printemps. Agri réseauJournée d'information scientifique - Grandes cultures du 23 février 2012 (CANADA) p. 20-21.
- [20]. Karamanos R E., Flore N A., and Harapiak T.J. (2005). Post-emergence application of N with wheat is contemplated as a practice The effect of timing was explored in three different experimental designs. JPlant Sci, 85(2), 327 - 342.

[21]. Mekhlouf A., Bouzerzour H., Ammar Benmahammed A., Hadj Sahraoui A et Harkati N., (2006). Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. *Sécheresse* 17 (4) doi: 10.1684/sec.2006.0054. p. 507 - 513.

[22]. Rabi A., Fellahi Z El A., Hannachi A., Bouzerzour H., Benmahammed A., (2016). Variabilité phénotypique et sélection pour la performance et l'adaptation du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) aux conditions des zones semi-arides. *Rev Agric* 11(201) p. 4-14.

[23]. Togola A., Niangaly O., Sidibé A., Diallo Paara dit M., Bolozogola D., Dembélé I., (2016). Etude des

possibilités d'adaptation de cinq variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L) en zone soudano sahélienne du Mali. Acte de la 9ème conférence de la Société Malienne des Sciences Appliquées (MSAS) tenue à Bamako-Mali.

[24]. Yang Y C., Zhang M., Zheng L., Cheng D D., Liu M., Geng YQ. (2011). Controlled Release Urea Improved Nitrogen Use Efficiency, Yield and Quality of Wheat. *J Agron.* 103 (3).p.479-485. doi:10.2134/agronj2010.0343. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0343>

Comportement de variétés de maïs tolérants à la sécheresse dans les conditions agro-climatiques du cercle de Koulikoro

Moussa Dramane Traoré^{*1}, Ousmane Niangaly¹, Abdoulaye Sidibé¹

¹Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou, Koulikoro, Mali.

*Auteur correspondant : traorem2010@gmail.com

RESUME : L'économie du Mali se repose sur le secteur agro-sylvo-pastorale, et occupe environ 80% de la population active. Le maïs (*Zea mays*), plante céréalière à haut potentiel de production est l'une des cultures les plus importantes pour l'alimentation directe ou indirecte de l'homme. Dans les perspectives d'augmentation de la production et de la productivité du maïs (*Zea mays*), beaucoup d'efforts sont déployés par les institutions de recherche pour satisfaire les besoins d'une population de plus en plus croissante. Le laboratoire d'Agro-physio-génétique et de Biotechnologies Végétales de l'IPR/IFRA de Katibougou en collaboration avec l'IITA (Institut International pour l'Agriculture Tropicale), travaille à cet effet sur des essais constitués de 6 variétés de maïs (*Zea mays*) tolérants à la sécheresse et une variété locale servant de témoin. L'objectif est d'augmenter la production du maïs (*Zea mays*) à travers l'accroissement de la superficie et du rendement par la mise à disposition des producteurs, de variétés performantes et adaptées. Les essais étaient installés en milieu paysans, en six répétitions. Le dispositif expérimental utilisé est le bloc de Fischer, 1963. Le logiciel STATIT CF a servi l'analyse des données. L'analyse de variance du taux de levée, la hauteur moyenne des plants et le nombre de feuilles 60JAS a révélé une différence hautement significative. Le nombre de plants récoltés, le nombre d'épis, la longueur et le diamètre des épis ont eu une différence hautement significative. La variété la plus productive a été la DT-syn1-W avec 1524,56kg/ha. La variété TZEE-Ypop STRC4 et 2000syn-WQpm ont été les variétés plus précoces (80-90jrs) par rapport aux autres et la plus tardive et la moins productive a été la variété IWDC2synWF2 avec 403,50kg/ha.

Mots clés : variétés, tolérants, sécheresse, agro-climatique, maïs.

1. INTRODUCTION

L'économie du mali se repose essentiellement sur le secteur agro sylvo-pastoral qui contribue à hauteur de 45% du PIB. Le secteur agricole génère en moyenne 40,9% du PIB (2017) et occupe environ 80% de la population active cité par [1]; [2]. Ce secteur fournit près de 75% des recettes d'exportation avec un taux de croissance de la production environ à 4% par an [3]

Le maïs occupe une place stratégique de culture de soudure avec d'autres cultures non céréalières comme l'igname, le niébé, qui permet aux ménages de varier leur alimentation et d'obtenir un certain équilibre nutritionnel [1]. Sa production est surtout destinée à l'autoconsommation et joue un rôle important pendant la période de soudure [1]. Le maïs (*Zea mays*), plante céréalière de grande potentialité productive (17,5%) est l'une des cultures les plus importantes pour l'alimentation directe et/ou indirecte de l'homme. Il est potentiellement plus productif que le mil et le sorgho et répond mieux aux apports d'engrais. La production de grains devance légèrement celles du riz et du blé. Il est aujourd'hui cultivé mondialement et est devenu la première céréale mondiale [4].

Le maïs est cultivé pour ses grains, riches en amidon environ 64-78% [5] et qui constituent la base de

l'alimentation de nombreuses populations. Il est utilisé sous plusieurs formes selon le niveau économique des pays. Il constitue un fourrage surtout les pays industrialisés, une denrée et une plante médicinale. La production mondiale de maïs en 2013 était de 839 millions de tonnes, contre 653 millions de tonnes pour le blé [6]. La position dominante du maïs en Afrique en générale et en Afrique de l'ouest en particulier a été favorisée par son rôle stratégique à la fois comme produit de rente et comme produit de forte consommation dans de nombreux pays [7].

Les variétés traditionnelles de maïs utilisées sont peu productives mais très adaptées aux différents milieux écologiques et socio-économiques. Les études menées au cours des dernières décennies ont cherché à analyser les effets des changements globaux (climatique, pression foncière, dégradation des ressources, volatilité des prix) sur la productivité des systèmes intégrés agro-sylvo-pastoraux en Afrique de l'ouest [8]; [9].

La culture du maïs au mali en général, et plus particulièrement dans le cercle de Koulikoro, est confrontée à un certain nombre de problèmes qui sont entre autre:

- l'insuffisance de structures spécialisées de production de semences,
- le prix élevé des intrants agricoles, souvent non disponibles au moment opportun.

au mali, le maïs possède le potentiel productif le plus élevé que toutes les autres cultures pluviales avec une production nationale de 600000 tonnes/an, dont, seule la zone CMDT produit plus de 500000 tonnes [10].

Le développement du secteur de l'agriculture, l'apport de l'enseignement et de la vulgarisation agricole ne s'auraient être négligées dans les stratégies de développement et de politique de l'autosuffisance alimentaire d'un pays en développement [3].

L'amélioration de la production agricole, de la situation alimentaire et nutritionnelle représentent sans doute l'un des principaux défis à relever pour un pays en développement [3].

Le mali, dans sa politique de l'autosuffisance alimentaire doit renforcer les capacités de production céréalière à travers des nouvelles semences améliorées, tolérantes aux différentes conditions climatiques et pluviométriques du pays. C'est à travers cette perspective de production céréalière que l'accent a été mis sur la culture du maïs.

L'utilisation des techniques de sélection végétale, de la création de variétés cultivées, capables d'associer à la fois de qualités agronomiques, économiques et ou nutritionnelles, sont des activités qui contribuent à l'accroissement des productions végétales.

C'est dans ce contexte que nous avons réalisé des essais de démonstration en milieu paysan des variétés de maïs tolérantes à la sécheresse dans deux communes du cercle de Koulikoro. L'objectif de la présente étude est de contribuer à l'augmentation de la production du maïs à travers l'accroissement de la superficie et du rendement par la mise à disposition des producteurs, de nouvelles variétés performantes et adaptées.

2. Matériel et méthodes

2.1 Matériel

2.1.1 Milieu d'étude

L'étude a été menée en zones soudanienne du Mali (900-1000 mm). Les essais ont été installés dans quatre villages du cercle de Koulikoro : Kayo et la station de Katibougou (commune urbaine de Koulikoro), Shô et Dialakorobougou (commune de Méguetan).

2.1.2 Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé était constitué de semences de maïs en provenance de l'IITA (Institut International pour l'Agriculture Tropicale) à Ibadan au Nigeria. Ce matériel était composé de six variétés

tolérantes à la sécheresse et une variété témoin du milieu paysan. Ce sont : 2000syn-WQpm, TZEE-YpopSTRC4, IWDC2synWF2, DT-syn1-W, TZ4TSR-WSGYsyn, DT-SRWCOF2.

2.2 Méthodes

2.2.1 Préparation de terrain

La préparation du sol a été faite après une bonne pluie afin d'obtenir un sol meuble et profond suffisamment aérée pour permettre une émergence uniforme.

2.2.2 Délimitation des parcelles

Elle a été faite à l'aide des piquets et du mètre ruban pour délimiter les dimensions des parcelles d'essais en différents blocs. La méthode 3-4-5 a été utilisée pour former les angles droits aux quatre côtés de chaque parcelle élémentaire.

2.2.3 Semis

Cette opération a permis de mettre au sol bien préparé les semences pour faciliter la germination et la levée. Le semis a été fait le même jour pour toutes les variétés. Il a été fait aux écartements de 0,75 cm entre les lignes et 0,50 cm entre les poquets à raison de 3 graines par poquet.

2.2.4 Entretien culturaux

Deux sarclages ont été faits à la daba et ont permis d'enlever les mauvaises herbes qui concurrencent les plants de maïs pour les éléments nutritifs dans leur développement et croissance. Ces mauvaises herbes évaporent une quantité importante d'eau au niveau des parcelles d'essai. Le 1er sarclage a été suivi du démariage des plants à raison deux plants vigoureux par poquet.

2.2.5 Fertilisation

Le maïs exige pour sa croissance et sa productivité des éléments minéraux qu'il puise au niveau du sol. Les doses recommandées pour l'intensification de la culture de maïs sont 200kg/ha de complexe céréale (CC) et 100kg d'urée/ha [11]. Ainsi pour chaque parcelle élémentaire, une dose de 4 kg de complexe céréale 15N-15P-15K et 2kg d'urée 46% N soit 6kg par parcelle élémentaire au premier épandage et une dose de 2kg d'urée au deuxième épandage. Le premier épandage d'engrais a été fait juste après le premier sarclage.

2.2.6 Buttage

Le buttage a été fait à la charrue chez certains producteurs mais chez d'autres, il a été fait à la main (daba). Il permet la multiplication des racines adventives et maintenir l'humidité du sol et d'éviter la verse des plantes.

2.2.7 Dispositif expérimental et facteur étudié

Le dispositif expérimental utilisé était le bloc de Fisher. Le principal facteur étudié a été la variété prise à sept niveaux de variation : six nouvelles

variétés et une variété témoin (Sotubaka) du producteur de cycle apparenté. Les essais sont menés dans deux communes du cercle de Koulikoro. Les essais ont été installés chez six producteurs et à la station constituant chacun une répétition. La dimension des parcelles élémentaires était de 20m x 10m soit 200m² pour chaque variété soit une superficie totale de 1400m². Les traitements utilisés ont été:

T1: (2000syn-WQpm+4kgCC+2kgUrée), T2: (IWDC2synWF2+4kgCC+2kgUrée), T3: (TZEEY-PopSTRC4+4kgCC+2kg Urée), T4: (DT-SRCOF2+4kgCC+2kg Urée), T5: (TZ4TSR-WSGYsyn+4kgCC+2kgUrée), T6: (DT-syn1-W+4kgCC+2kgUrée), T7: (Variété témoin+4kgCC+2kg Urée).

2.2.8 Observations agro-morphologiques

Les observations agro-morphologiques ont été faites sur les plants des quatre lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. Elles ont porté sur le nombre de poquets à la levée, le nombre de plants après le démariage, la hauteur moyenne des plants, le nombre moyen de feuilles 45JAS, le nombre moyen de feuilles 60JAS, le nombre moyen de plants récoltés par variété, le nombre moyen d'épis récoltés par variété, la longueur moyenne des épis par variété, le

diamètre des épis par variété, le poids de 100 graines par variété et le rendement des variétés a été ramené en tonne.

2.2.9 Récolte

La récolte a été faite respectivement selon la maturité de chaque variété en prenant soin de ne laisser que les trois poquets des extrémités de chaque ligne.

2.2.10 Méthode d'analyse des données

Les données collectées ont été analysées à l'aide du logiciel STATITCF. Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a été choisi pour la comparaison des moyennes. L'Excel a été utilisé pour la représentation graphique.

III Résultats

3.1 Nombre de poquets levés

Toutes les observations ont été portées sur les quatre lignes centrales de chaque parcelle d'essai. Ainsi, l'analyse de variance des données de la levée a montré une différence hautement significative entre les variétés (tableau1). Les plants des variétés TZEE-YpopSTRC4 suivis de DT-SRWCOF2, 2000syn-WQpm ont eu plus de poquets levés que des autres variétés. Le test de Newman et Keuls au seuil 5% a permis d'identifier deux groupes homogènes. La variété IWDC2synWF2 a eu moins de poquets levés.

Tableau1: Nombre de poquets levés des variétés.

Variétés	Moyennes	Groupes homogènes	Probabilité	MG	CV(%)
TZEE-Ypop STRC4	129,80	a			
DT-SRCOF2	128,20	a			
2000syn-WQpm	122,60	a			
TZ4TSR-WSGYsyn	122,00	a	0,0000	115	13,50
DT-syn1-W	119,40	a			
Variété témoin	115,80	a			
IWDC2synWF2	64,60	b			

Les lettres de la même colonne représentent entre elles de différence significative au seuil de 5% du test de Newman et Keuls; MG=moyenne générale; CV=coefficient de variation.



Figure 1 : Etat d'une parcelle après germination

3.2 Nombre de plants après le démariage

L'analyse de variance du nombre de plants après le démariage a montré une différence hautement significative ($P < 0,05$), tableau 2. Les variétés DT-SRWCOF2, TZEE-YpopSTRC4, DT-syn1-W, 2000syn-WQpm, TZ4TSR-WSGYsyn, et la variété témoin ont eu plus de plants que la variété IWDC2synF2 qui enregistre moins de plants.

Tableau 2 : Nombre moyen de plants par variété après le démariage.

Variétés	Moyennes	Groupes homogènes	Probabilité	MG	CV%
DT-SRCOF2	220,80	a			
TZEE-Ypop STRC4	208,80	a			
DT-syn1-W	199,80	a	0,0000	183,82	17,0
2000syn-WQpm	199,80	a			
TZ4TSR-WSGYsyn	193,60	a			
Variété témoin	182,80	a			
IWDC2synWF2	82,20	b			

Les lettres de la même colonne représentent entre elles de différence significative au seuil de 5% du test de Newman et Keuls; MG=moyenne générale; CV=coefficient de variation.

3.3 Hauteur moyenne des plants

L'analyse de variance de la hauteur moyenne des plants a montré une différence hautement significative ($P < 0,05$) entre les variétés (tableau3). Les plants de grande taille ont été ceux de la variété DT-syn1-W, 2000syn-WQpm, TZEE-YpopSTRC4. La variété IWDC2synF2 est celle qui a donné les plants de petite taille. Le test de Newman et Keuls au seuil 5% a permis de classer les différentes variétés en trois groupes homogènes (tableau 3).

Tableau 3: Hauteur moyenne des plants par variété

Libellés	Moyennes (cm)	Groupes homogènes	Probabilité	MG(m)	CV%
DT-syn1-W	2,05	a			
TZEE-Ypop STRC4	2,01	a			
2000syn-WQpm	2,00	a	0,0028	1,89	7,3
Variété témoin	1,87	ab			
DT-SRCOF2	1,86	ab			
TZ4TSR-WSGYsyn	1,79	ab			
IWDC2synWF2	1,67	b			

Les lettres de la même colonne représentent entre elles de différence significative au seuil de 5% du test de Newman et Keuls; MG = moyenne générale; CV = coefficient de variation.

3.4 Nombre moyen de feuilles 45 JAS

L'analyse de variance du nombre de feuilles des variétés a révélé une différence non significative ($P > 0,05$) du nombre de feuilles entre les variétés



Figure 2 : Etat de la hauteur moyenne des plants d'une parcelle 45 JAS

3.5 Nombre moyen de feuilles 60 JAS

L'analyse du nombre de feuilles vertes 60JAS a montré une différence hautement significative entre les variétés ($P < 0,05$). Ainsi les plants de la variété DT-syn1-W ont eu plus de feuilles vertes suivies de la variété IWDC2synWF2 avec respectivement 9,40

et 9,20 feuilles en moyenne. Les plants de la variété TZEE-YpopSTRC4 ont donné moins de feuilles vertes à 60JAS. Le test de Newman de Keuls au seuil 5% a permis de classer trois groupes homogènes (tableau4).

Tableau 4 : Analyse de variance nombre moyen de feuilles 60JAS.

Variétés	Moyennes	Groupes homogènes	Probabilité	MG	CV%
DT-syn1-W	9,40	a			

IWDC2synWF2	9,20	a			
Variété témoin	8,60	ab			
DT-SRCOF2	7,60	ab	0,0095	7,89	17,5
TZ4TSR-WSGYsyn	7,20	ab			
2000syn-WQpm	6,80	ab			
TZEE-Ypop STRC4	6,40	b			

Les lettres de la même colonne représentent entre elles de différence significative au seuil de 5% du test de Newman et Keuls; MG = moyenne générale; CV = coefficient de variation

3.6 Nombre moyen de plants récoltés par variété

Les résultats des tableaux 5 et 6, il ressort une différence hautement significative entre les variétés ($P < 0,05$) pour le nombre de plants récoltés et nombre d'épis de chaque variété. Les moyennes générales sont respectivement 160,66 et 118,4 (tableau 5 et 6). La TZEE-Ypop STRC4 a donné plus

plants que les autres variétés. La variété IWDC2synWF2 est celle dont les plants ont été moins nombreux et cela parce qu'une très faible densité des plants de cette variété est enregistrée dans ses parcelles utiles.

Tableau 5: Analyse de variance du nombre de plants récoltés par variété.

Variétés	Moyennes	Groupes homogènes	Probabilité	MG	CV%
DT-SRCOF2	198,20	a			
TZEE-Ypop STRC4	189,60	a	0,0001	160,66	22,8
DT-syn1-W	185,80	a			
2000syn-WQpm	183,60	a			
Variété témoin	160,40	a			
TZ4TSR-WSGYsyn	139,40	a			
IWDC2syn-WF2	67,60	b			

Les lettres de la même colonne représentent entre elles de différence significative au seuil de 5% du test de Newman et Keuls; MG = moyenne générale; CV = coefficient de variation.

3.7 Nombre moyen d'épis récoltés par variété

Tableau 6 : Analyse de variance du nombre moyen d'épis récoltés par variété.

Variétés	Moyennes	Groupes homogènes	Probabilité	M.G	CV%
DT-syn1-W	149,80	a			
TZEE-Ypop STRC4	132,40	a			
2000syn-WQpm	129,60	a	0,0008	118,40	24,60
DT-SRCOF2	128,00	a			
TZ4TSR-WSGYsyn	123,20	a			
Variété témoin	114,20	a			
IWDC2synWF2	51,60	b			

Les lettres de la même colonne représentent entre elles de différence significative au seuil de 5% du test de Newman et Keuls; MG = moyenne générale; CV = coefficient de variation.



Figure 3: Parcelle d'un essai en phase d'épiaison

3.8 Longueur moyenne des épis par variété

L'analyse de variance de la longueur des épis effectuée sur les échantillons de toutes les variétés et sur toutes les répétitions a montré une différence significative entre les variétés ($P < 0,05$). Le test de Newman et Keuls au seuil 5% indique trois groupes

homogènes (tableau 7). La variété IWDC2synWF2, la variété témoin, la variété DT-Ssyn1-W, TZ4TSR-WSGYsyn et TZEE-Ypop STRC4 ont eu les plus grands épis. Les plants de la variété 2000syn-WQpm ont eu des épis plus courts. La moyenne générale est 18,11cm.

Tableau 7 : Analyse de variance de la longueur moyenne des épis des variétés.

Variétés	Moyennes (cm)	Groupes homogènes	Probabilité	MG	CV%
IWDC2synWF2	18,80	a			
Variété témoin	18,80	a	0,00274	18,11	6,2
DT-Ssyn1-W	18,60	a			
TZ4TSR-WSGYsyn	18,40	a			
TZEE-Ypop STRC4	18,20	a			
DT-SRCOF2	17,60a	ab			
2000syn-WQpm	16,40	b			

Les lettres de la même colonne représentent entre elles de différence significative au seuil de 5% du test de Newman et Keuls; MG = moyenne générale; CV = coefficient de variation.

3.9 Diamètre des épis par variété

L'analyse a montré une différence hautement significative ($P < 0,05$) entre la largeur des épis des plants au niveau de tous les échantillons des différentes répétitions. La moyenne générale est 15,46 cm (tableau 8). Les données soumises au test de Newman et Keuls au seuil 5 % permet de classer trois groupes homogènes où les variétés DT-syn1-W

et variété témoin forment un même groupe avec respectivement 16,40cm et 16,20 cm. Les variétés IWDC2synWF2; DT-SRCOF2; 2000syn-WQpm et TZEE-Ypop STRC4 devancent respectivement la variété TZ4TSR-WSGYsyn. La largeur des épis de la variété TZ4TSR-WSGYsyn a été le plus petit par rapport aux diamètres des autres variétés.

Tableau 8 : Analyse de variance du diamètre moyen des épis des variétés.

Libellés	Moyennes (cm)	Groupes homogènes	Probabilité	MG	CV
DT-syn1-W	16,40	a			
Variété témoin	16,20	a	0,0091	7.73	6.0%
IWDC2synWF2	15,80	ab			
DT-SRCOF2	15,60	ab			
2000syn-WQpm	15,40	ab			
TZEE-Ypop STRC4	14,60	ab			
TZ4TSR-WSGYsyn	14,20	b			

Les lettres de la même colonne représentent entre elles de différence significative au seuil de 5% du test de Newman et Keuls; MG = moyenne générale; CV = coefficient de variation.

3.10 Poids grains des variétés

L'analyse de variance du poids des grains a montré une différence hautement significative ($P < 0,05$) entre les différents traitements. Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a permis de classer les variétés en quatre groupes homogènes (tableau 9). Les plants de la variété DT-syn1-W ont donné un poids supérieur à ceux des plants de toutes les autres

variétés. Les variétés 2000syn-WQpm; TZEE-YpopSTRC4 et DT-SRCOF2 sont statistiquement égales, suivies des variétés témoin et TZ4TSR-WSGYsyn. Le poids des grains de la variété IWDC2synWF2 a été beaucoup plus faible par rapport aux poids des autres plants des variétés.

Tableau 9: Analyse de variance du poids moyen de 100 grains des variétés.

Libellés	Moyennes (g)	Groupes homogènes	Probabilité	MG	CV(%)
DT-syn 1-W	8,69	a			
2000syn-WQpm	6,91	ab			
TZEE-Ypop STRC4	6,87	ab			
DT-SRCOF2	6,70	ab	0,0002	5,91	28,9%
Variété témoin	5,41	b			
TZ4TSR-WSGYsyn	4,83	b			
IWDC2synWF2	2,30	c			

Les lettres de la même colonne représentent entre elles de différence significative au seuil de 5% du test de Newman et Keuls; MG = moyenne générale; CV = coefficient de variation

3.11 Rendement en tonne

La variété DT-syn1-W a donné un rendement meilleur à l'hectare par rapport aux autres variétés (1524,56 kg), figure4. Les variétés 2000syn-WQpm, TZEE-YpopSTRC4 et DT-SRCOF2, la variété témoin sont statistiquement identiques avec un rendement moyen d'une tonne deux cents (1200 kg) à l'hectare. La variété IWDC2synWF2 a donné un rendement inférieur à une tonne (0,400 tonnes) à l'hectare.

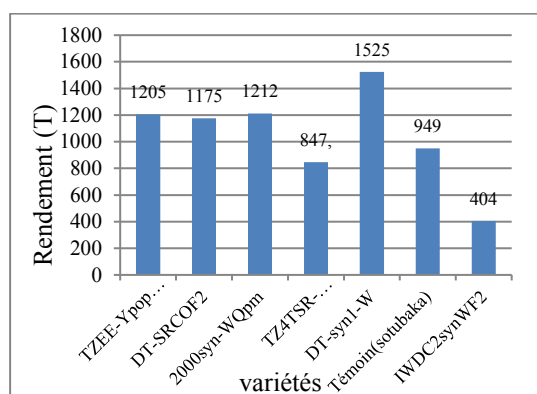


Figure 4 : Rendement des variétés à l'hectare.

4. Discussion

Pendant la phase d'observation de la germination, il a été constaté que 85% des variétés avaient germés dans leurs parcelles utiles après 5 jours de semis. Cette valeur est légèrement faible par rapport à celle indiquée par le CILSS, pour les semences certifiées qui est de 90%. Cependant, nous avons constaté que le taux de germination de la variété IWDC2synF2 est très inférieur à celui indiqué par le CILSS.

Pour la variété IWDC2synF2, seulement 40% des graines avaient germés dans les parcelles utiles. Cela a été constaté au niveau de toutes les répétitions. Le cycle végétatif des variétés se situait entre 80-100 jours. Ce cycle est supérieur au cycle des variétés Appolo et Niéléni qui est de 80-90 jours. Les plants de la variété IWDC2synF2 ont été récoltés à 110JAS. Cette valeur est largement supérieure à celle d'Appolo et Niéléni.

Par rapport aux rendements, la variété DT-syn1-W a donné le meilleur rendement avec une moyenne de 1525kg/ha soit 15 quintaux à l'hectare suivis des variétés 2000syn-Qpm, TZEE-YpopSTRC4, DT-SRWCOF2 avec respectivement 1212kg/ha, 1205 kg/ha, 1175 kg/ha. L'écart de rendement entre la variété DT-syn1-W et les autres variétés peut s'expliquer par le nombre d'épis récoltés et le poids des grains des épis qui étaient supérieurs à ceux des autres variétés. Ce rendement est cependant supérieur aux rendements des variétés locales utilisées par [11] dans son étude par les producteurs selon deux techniques culturales (1238 kg/ha et 1286 kg/ha).

Par contre nos rendements sont faibles par rapport aux rendements aux variétés Appolo, Niéléni et TZESRW diffusées en zone CMDT et OHVN qui sont respectivement 4 tonnes et 4,5 tonnes et 4,6 tonnes à l'hectare. Le plus grand rendement de notre étude a été obtenu avec la variété DT-syn1-W (1525kg). Ce rendement est inférieur au rendement de Dembaniuma (2,2 tonne/ha) selon les études de [11]; [12]; [14]; [1] et de différentes autres variétés améliorées de maïs cultivées en Afrique de l'ouest [15]. Le plus bas rendement de notre étude a été observé chez la variété IWDC2syn F2 (moins d'une tonne à l'hectare). Cet écart entre la variété IWDC2syn F2 et les autres variétés serait dû à son faible taux de germination et au nombre de plants récoltés dans les parcelles utiles. Cet état a été constaté au niveau de toutes les répétitions. Par conséquent, le rendement de cette variété a chuté.

5. Conclusion

Au terme de cette étude, nos différentes observations ont révélé que les variétés TZEE-YpopSTRC4; DT-SRWCOF2 ont été les meilleures lors de la levée avec respectivement un nombre moyen de 129 et 128 poquets levés. La variété IWDC2synWF2 a été moins favorable à la germination avec seulement 64,60 poquets levés. Par rapport à la taille des plants des différentes variétés, les plants les plus grands ont été ceux des variétés, DT-syn 1-W (2,05m), TZEE-YpopSTRC4 (2,01m), 2000syn-WQpm (2,00m). La

variété IWDC2syn WF2 a présenté les plants de petite taille (1,67m).

Quant au nombre moyen de feuilles à 60JAS, la DT-syn1-W a représenté plus de feuilles vertes (09 feuilles en moyenne). La TZEE-Ypop STRC4 a donné moins de feuilles (06,40 feuilles en moyenne). Dans les mêmes conditions de culture, trois variétés (DT-syn1-W, TZ4TSR-WSGYsyn, et la variété témoin) ont conservé la majorité des feuilles vertes jusqu'à la récolte avec une moyenne de 7,8.

La variété DT-syn1-W a été la plus productive en termes de rendement et se classe en première position avec un rendement de 1524,56 kg à l'hectare suivi des variétés 2000syn-WQpm, TZEE-YpopSTRC4 avec une production moyenne d'une tonne deux cents (1200kg) à l'hectare en milieu paysan. Les variétés les plus précoces ont été 2000syn-WQpm et TZEE-YpopSTRC4, la plus tardive et la moins productive a été celle d'IWDC2syn WF2. Cependant, vu les résultats obtenus, les doses de fertilisation minérale utilisées n'ont pas permis aux variétés testées d'extérioriser leur potentiel productif face à beaucoup de variétés existantes afin de contribuer à l'amélioration de la sécurité alimentaire et des revenus des exploitations agricoles.

Remerciements

Nous remercions l'Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) de Katibougou à travers le laboratoire d'agrophysio-génétique et de biotechnologies végétales pour son accompagnement pendant cette étude et la Direction Régionale de l'Agriculture (DRA) de Koulikoro pour la bonne collaboration lors de cette étude. Nous remercions également nos paysans partenaires qui ont accepté de mener ces essais dans leur village respectifs.

Références

- [1] Traoré, A., Sissoko F., Dembélé, U., Yattara A., et Yossi, H., « Amélioration des rendements des céréales sèches en zone Mali -Sud par la Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols à base des plantes fixatrices d'azote » Sikasso, Mali, 2014.
- [2] Coulibaly, B. « Baisse de rendement de coton graine : Impact sur le revenu coton des producteurs de M'pessoba (zone CMDT de Koutiala) » M'pessoba, Zone CMDT, 2012.
- [3] Samake, A. Bélières, J. Koné, B. et Dembélé, U., « Un observatoire des exploitations agricoles du Mali : Etude de conception réalisée dans le cadre du projet PAPAM » 2011.
- [4] Semassa, A., Padonou, S., Anihouvi, V., Akissoé, N., Adjanohoum, A. et Baba-Moussa, L., « Diversité variétale, qualité et utilisation du maïs (*Zea mays*) en Afrique de l'Ouest. revue critique » european scientific journal, vol. 12, n°118, 2016.
- [5] Waston, S., « Waston, S.A., 1987. Structure and composition. In : Corn Chemistry and technology, Watson S.A. and Ramstad P.E » Ed American Association of cereal Chemists, pp. 55-82, 1987.
- [6] Semassa, A., « Statistiques mondiales en temps réel sur les céréales www.planetoscope.com/cereales/193-production-mondiale-de-mais in (SEMASSA, 2016), » Planetoscope-Statistique, 2013.
- [7] Nago, C., « La transformation alimentaire traditionnelle du maïs au Bénin: détermination des caractéristiques physico-chimiques des variétés en usage; relations avec l'obtention et la qualité des principaux produits dérivés » Paris 7, 1997.
- [8] Djouara, H. Bélières, J.D et Kébé D., « Les exploitations agricoles familiales de la zone cotonnière du Mali face à la baisse des prix du coton-graine, » Cahiers Agricultures, vol. 15, pp. 64-71, 2006.
- [9] Coulibaly, D., Pocard-Chapuis R. et Ba A., « Dynamiques territoriales et changements des modes de gestion des ressources pastorales au Mali Sud (Mali). Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, » pp. 357-360, 2009.
- [10] Coulibaly, Y., « Promotion du maïs Qpm (dembagnuman) dans le cercle de Koulikoro par la production de semences et la réalisation d'un essai comparatif de génération à l'IPR/IFRA de Katibougou, » Katibougou, 2007.
- [11] Coulibaly D., Sissoko F., Ba A., Bengali M., Dembélé B et Sangaré M.I, « Situation de référence des exploitations agricoles au sud du Mali, » 2013.
- [12] Traoré, A., « Analyse des effets de l'intensification agricole sur la production de maïs dans le cercle de Koutiala cas du village de n'gountjina, » 2019.
- [13] Blanchard, M., Coulibaly, D., Ba A., Sissoko F. et Pocard, R., « Contribution de l'intégration agriculture-élevage à l'intensification écologique des systèmes agro-pastoraux: le cas du Mali sud. Séminaire sur l'intensification écologique et conception des innovation dans les systèmes agro-pastoraux de l'Afrique de l'Oues » pp. 47-59, 2011.
- [14] D.R.A, « Synthèse des productions de céréalières sur les campagnes agricoles 2008 - 2009, 2009 - 2010 et 2010 - 2011 » Sikasso, 2011.
- [15] Sissoko, F., Coulibaly, D., Cissé, O. et Dugue, P., « Evaluation de l'arrière-effet de la culture du coton sur la production céréalière en zone cotonnière du Mali. <https://editorialexpress.com/cgi-bin/conference/download.cgi?db> » p. 15, 2013.
- [16] P. Boone, C. D. Stathacos et R. L. Wanzie, « Évaluation sous-régionale de la chaîne de valeur du maïs, » Décembre 2008.

Technique de la reproduction artificielle de *Clarias gariepinus* en système de circulation continue de l'eau à l'écloserie semi-moderne de l'IPR/IFRA de Katibougou

Siaka DEMBELE¹, Mahamadou KELEPILY^{1*}, Aboubacar KANE¹

¹IPR/IFRA de Katibougou, Mali

*Email address: mkelepily@yahoo.com

RESUME : Cette étude a été réalisée à l'écloserie semi-moderne de l'IPR/IFRA de Katibougou. L'objectif de l'étude est de contribuer au développement de la pisciculture dans la région de Koulikoro. Face au déficit en alevins, il est impératif d'étudier la technique de la reproduction artificielle du *Clarias gariepinus* dans les conditions climatiques du Mali. Pour la réalisation de l'étude, 12 géniteurs *Clarias gariepinus*, dont 9 femelles et trois mâles ont été utilisés. Trois lots ont été formés sur la base de trois femelles pour mâles. Cinquante grammes d'ovocytes de chaque lot, ce qui équivaut à 75000, ont mis en incubation dans des bassins de 0,09 m³ (0,6 x 0,5 x 0,5) à une température de 28,80°C. Après une période d'incubation de 22 heures, les œufs ont éclos, donnant naissance à 9000, 9500 et 11000 larves respectivement dans les bassins d'incubation B1, B2 et B3. Les larves, suite à une période d'élevage de 60 jours ont atteints le stade d'alevins avec un poids moyen de 7,25 g en B1, 6,50 g en B2 et 4,75 g en B3. Le taux d'éclosion des œufs a été de 36 % en B1, 38 % en B2 et 44 % en B3, alors que le taux survie des alevins a été de 61 %, en B1, 75 % en B2 et 85 % en B3. En fin de cycle production, au total 22055 alevins ont été obtenus. Ce nombre d'alevins correspond à un taux de survie global de 73 % au cours l'alevinage, contre un taux d'éclosion faible des œufs de 29,40 % pour l'éclosion, par conséquent l'étude doit être reconduite pour déterminer les causes du faibles taux d'éclosion et la mort massive des larves.

Mots-clés : *Clarias gariepinus*, éclosion, incubation, alevins

I. INTRODUCTION

Les sociétés humaines sont confrontées à un immense défi: assurer un approvisionnement en nourriture et des moyens d'existence à une population qui dépassera largement les neuf milliards au milieu du XXIe siècle, tout en faisant face aux incidences disproportionnées du changement climatique et de la dégradation de l'environnement sur la base de ressources (FAO,2018).

Le poisson reste parmi le produit alimentaire le plus commercialisé dans le monde et le plus important pour le bien-être de l'homme, surtout pour les zones autour des lacs, rivières, des deltas, les plaines, et des régions côtières (Olaiya, 2015).

La production halieutique mondiale a atteint une valeur record d'environ 171 millions de tonnes, le secteur de l'aquaculture comptant pour 47 % de ce chiffre, voire 53 % si l'on exclut la production destinée à des utilisations non alimentaires (FAO, 2018).

En 2020, 156 millions de tonnes ont été utilisées pour la consommation humaine, ce qui équivaut à une offre annuelle estimée à 20,5 kg par habitant. Selon Adewumi et Olaleye (2011), l'aquaculture en Afrique est entravée par une gamme de problèmes parmi lesquels figure l'approvisionnement inadéquat en semence de qualité.

Selon Adewumi et Olaleye (2011), le poisson chat Africain *Clarias gariepinus* ou lazera sont les plus résistants.

Au Mali le *Clarias* est la deuxième espèce de poisson (après le tilapia), le plus disponible sur les marchés, avec une production annuelle de 4532 tonnes en 2015 (INSAT, 2016).

Selon DNP, la production d'alevins au Mali a été de 8 987 250, ce qui reste très faible par rapport la demande (DNP, 2015) et la production piscicole a été de 2400 tonnes.

Le faible niveau de production d'alevins fait constitue un des freins au développement de la pisciculture au Mali (DNP, 2015).

Cette étude a pour objectif de contribuer au développement de la pisciculture dans la région de Koulikoro par la production d'alevins de *Clarias gariepinus*

2. OBJECTIFS

2.1 Objectif général

Contribuer au développement de la pisciculture dans la région de Koulikoro.

2.2 Objectifs spécifiques

- mesurer les paramètres physico-chimiques de l'eau des bassins d'incubation et d'alevinage
- déterminer le poids moyen des larves et des alevins,

-déterminer le taux d'éclosion des œufs de survie des alevins.

3. MATERIEL ET METHODES

3. Zone d'étude

Le site de cette étude est situé dans le domaine de l'IPR/IFRA de Katibougou. L'IPR/IFRA de Katibougou est situé à 70 km de Bamako et à 3,5 km de la ville de Koulikoro. Il couvre une superficie de 400 ha du long de la rive gauche du fleuve Niger. Ses coordonnées sont les suivantes : 10°56'N, 7°37'O, 326 m d'altitude.

3.1. Matériel

3.1.1. Matériel Animal

Le matériel animal est composé de 4 géniteurs de *Clarias gariepinus* (9 femelles et 3 mâles), obtenu par le canal du projet « jègè ni jaba ».

Ces géniteurs de *Clarias* est une souche améliorée en provenance du Nigéria.

3.1.2. Matériel technique

Le matériel technique est composé de :

- un oxymètre électronique pour mesurer la teneur en oxygène de l'eau des bassins,
- un pH-mètre électronique pour mesurer le pH et la température de l'eau,
- une balance électronique ultra-sensible de précision 0,01,
- une balance automatique marque camry de précision 1g,
- un kit de chirurgie.

3.1.3 Aliments

Les trois types d'aliments utilisés au cours cette expérience sont :

- Artémia : aliment larvaire de démarrage, en fine poudre fabriqué à partir d'un crustacé marin,
- Aliment composé extrudé, second larvaire, contenant 69 % de protéines brutes,
- Biomar : aliment composé importé de la France contenant 49 % de protéines brutes, destiné à nourrir les géniteurs.

3.1.4 Bassins

Les bassins sont composés de :

- deux bassins en ciment fortifiés de 8 m x 4 pour d'élevage des géniteurs,
- trois bassins en ciment fortifiés de 1,5 m x 0,60 x 0,5 m pour stockage et la mise en repos des géniteurs sélectionnés,
- 6 bassins de 0,6 m x 0,5 x 0,5 m incubation pour l'incubation et l'élevage larvaire,
- deux bacs hors de 3 m x 0,5 m x 0,5m avec cadre en bois contenant une géo-membrane pour l'alevinage.

3.2. Méthodes

3.2.1 Sélection et mis en repos des géniteurs

Les géniteurs mâles sélectionnés ont un poids de 1,00-2,80 kg, et une papille génitale bien développée (touchant la nageoire anale).

Les femelles présentant un abdomen bien gonflé et mou, pesant 1,3-2,30 kg ont été sélectionnées. Les femelles laissent couler un peu de leurs œufs sous l'action de la pression sur leur abdomen.

3.2.2 Mesure des paramètres l'eau des bassins

Les paramètres physicochimiques de l'eau mesurés sont :

- Oxygène dissout : valeur obtenue par lecture sur l'écran de l'oxymètre plongé dans l'eau,
- pH : l'électrode du pH-mètre plongé dans l'eau, on obtient la valeur du pH par simple lecture,
- température : mesurée par lecture sur l'écran du pH-mètre,

3.2.3. Séparation et mis au repos des géniteurs

Les géniteurs sélectionnés sont capturés le matin à 8h GMT et mis dans des bassins séparés à une température moyenne de 28°C.

Les femelles reçoivent une dose d'hormone hypophysaire (ovaprim), proportionnellement à leur poids. La dose 0,5 ml/kg de Poids a été administrée par injection intramusculaire à chaque femelles. Les fenêtres et portes de l'écloserie sont fermées pendant la durée de cette période repos pour créer un milieu obscur favorable à la tranquillité des *Clarias*.

La durée de la période latence dépend de la température de l'eau, elle a été de 8 heures de temps.

3.2.4 Récolte des semences (œufs et laitance)

Après le temps de latence, les géniteurs mâles ont été sacrifiés pour récolter la laitance. La laitance des mâles a été obtenues par ouverture de l'abdomen et en récupérant les deux gonades : deux bandelettes remplies de liquide laiteux blanchâtre. Les gonades mâles ont été nettoyées et débarrassées des traces de sang et de la graisse et des résidus de tissus, ensuite placé dans une assiette plastique

Les œufs des femelles ont été obtenus par contention et massage abdominal. Ce qui permet de faire couler les œufs matures dans un récipient plastiques.

Les géniteurs sont répartis en différents lots de reproduction. Chaque lot est composé de trois femelles affectées à un mâle. Les œufs des trois femelles de chaque lot sont mixés et fécondé par la laitance d'un mâle.

3.2.5 Fécondation et mis en incubation des œufs

Les œufs des femelles ont été placés dans un bol plastique et arrosés avec la laitance des mâles.

Des incisions ont été faites dans les testicules pour libérer la laitance.

Une quantité de sérum physiologique a été versée sur le mélange œuf-laitance pour provoquer la fécondation des œufs. Le mélange est légèrement secoué pendant quelques secondes (maximum 60) et les œufs sont répartis en bassins d'incubation en les étalant sur les tamis flottants.

La durée de l'incubation a été de 22 heures, correspond à une température de l'eau de 28°C.

Le taux d'éclosion est déterminé par la formule suivante :

$$\% \text{ éclosion} = (\text{Nombre total d'œufs fécondés} - \text{nombre total d'œufs non fécondés}) \times 100 / \text{Nombre total d'œufs fécondés}$$

3.2.6 Elevage larvaire et alevinage

Les œufs fécondés mis en incubation ont éclos en 22 heures.

Les larves de petites tailles munies d'un sac vitellin ont été obtenues. Pendant les trois premiers jours les larves n'ont pas été nourries par apport l'aliment extérieur. Leur nourrissage a débuté le 4^{ème} jour après l'absorption du sac vitellin.

L'élevage larvaire et l'alevinage sont identiques quant aux activités à mener. Ces activités sont : le nettoyage des bassins par siphonage, le renouvellement de l'eau, la mesure des paramètres de qualité de l'eau, la détermination du poids et le tri régulier.

Les différences fondamentales entre élevage et alevinage, est que d'une part les larves étant de tailles plus petites sont plus fragiles que les alevins et demandent plus de soins et d'attention au cours de leur élevage et d'autre part leur aliment est différent de celui des alevins.

Au quatrième jour les larves ont été soumises à une alimentation à base d'artémia et cela pendant trois jours. Au septième le sevrage des larves a débuté de façon progressive en remplaçant l'artémia avec un aliment extrudé.

L'élevage larvaire a duré 20 jours et l'alevinage 40 jours.

La durée la production d'alevins est de 60 jours, ce qui a permis d'obtenir des alevins commercialisables.

Le taux de survie des larves et alevins est calculé par la formule suivante :

$$\% \text{ survie} = (\text{Nombre total de larves ou d'alevins vivants} - \text{Nombre total de larves ou d'alevins morts}) \times 100 / \text{Nombre total de larves ou d'alevins vivants}$$

3.4. Traitement des Données Collectées

Les données concernant cette étude ont été enregistrées sur des fiches, ensuite reportées sur une base de données Excel. Elles ont été saisies et traitées sur Excel et Word.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1. Les paramètres de l'eau

Les paramètres de la qualité de l'eau dont la température, le Ph et la teneur en oxygène dissout ont été mesurés par quinzaine. Les résultats des mesures faites sont notés dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1 : Paramètres physicochimiques de la qualité de l'eau des bassins

Bassins	T° C	pH	Oxygène mg /l
---------	------	----	---------------

B 1	28,93±1,5	7,21±0,55	4,76±0,5
B 2	28,01±1,10	7,77±0,53	4,23±0,35
B 3	29,5±1,15	7,60±0,27	5,10±0,35

L'analyse de ces résultats montre que la température la plus élevée a été mesurée dans le bassin, suivie de celle en B1 et B2. Le pH reste varié autour de sa valeur neutre, avec une plus forte en B2, suivie de celle en B3 et B1 qui la plus basse valeur.

Ces paramètres physicochimiques sont conformes à ceux indiqués par CHUKWUKADIBIA, 2016 dans la reproduction artificielle du *Clarias*.

La variation dans les valeurs des paramètres est due en partie à la fluctuation de la température et aussi à cause du degré de pollution de l'eau qui n'est uniforme dans tous les bassins.

Légende :

B : bassin

Les chiffres 1,2, 3 représentent les numéros des bassins

4.2. Le poids des géniteurs et la dose d'hormone injectée

Les géniteurs ont été pesés pour déterminer le poids des mâles et des femelles par lot et aussi pour calculer la dose à injecter par femelles. Le poids moyen des mâles est de 1,86±0,5 kg

Les résultats de ces pesées et des calculs sont mentionnées dans le tableau 2 ci-après.

Tableau 2 ; Poids des géniteurs et la dose d'hormone à injecter au femelles.

Lots	Femelles			Tp (%)
	Pm (kg)	Dh (ml)	Po (g)	
Lot 1	1,7±0,17	0,58±0,15	255	15
Lot 2	1,30±0,37	0,65±0,10	208	16
Lot 3	2,30±0,15	1,15±0,6	345	15

Légende :

Pm : poids moyen

Dh : dose d'hormone

Po : poids des ovocytes

Tp : taux de ponte

L'analyse des résultats du tableau relève que le poids des femelles n'est pas identique, de ce fait la dose d'hormone a variée de façon proportionnelle à leur poids, de même que la quantité d'ovocytes obtenue par femelles.

Les taux de pont des femelles sont conformes à ceux obtenus par Megbowon et al, 2013 dans « Breeding Performance of *Clarias Gariepinus* Obtained From Nigerian Waters »

4.3. Le taux d'éclosion des œufs et de survie des alevins

Le même nombre d'ovocytes a été mis en incubation dans bassins, c'est-à-dire 25000, ce qui correspond à un poids de 50 g d'œufs.

Après une période d'incubation de 9 heures, ce qui correspond à une température de l'eau des bassins de 28,80°C, les résultats concernant les larves vivantes en fin d'incubation, et du nombre d'alevins notés dans le tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3 : Taux d'incubation des ovocytes et de survie des alevins

Bassins	Œufs			Alevins		
	Oi (n)	Lv (n)	Te (n)	Av (n)	Am (n)	Ts (°)
B 1	25000	9000	36	5580	3450	61
B 2	25000	9500	38	7125	2375	75
B 3	25000	11000	44	9350	1650	85

Légende :

B : bassin

Oi : ovocytes mis en incubation

Lv : larves vivantes

Te : taux d'éclosion

Av : alevins vivants

Am : alevins morts

Ts : taux de survie

L'analyse des résultats du tableau 3 ci-dessus montrent une différence au niveau des bassins en ce qui concerne le taux d'incubation des œufs et le taux de survie des larves et des alevins.

Le taux d'incubation le plus fort est noté dans le bassin 3, suivi de celui de B2 et B1. Le taux de survie des alevins a aussi suivi cette même tendance à savoir un taux de survie plus élevé en B3, suivi de B2 et B1.

Ces taux d'éclosion, de survie des larves et des alevins sont faibles par rapport à ceux indiqués par Viveen et al, 1985 dans « Manuel pratique de pisciculture de poisson chat Africain (*Clarias gariepinus*).

La différence dans les résultats au niveau de ces trois bassins peut être due au manque d'équité dans l'application des soins d'entretien et aussi très inadéquat pour détecter les jumpers. En effet le cannibalisme effectué par les jumpers (alevins à croissance rapide), qui consomment les autres alevins normaux peut être une cause de la différence du taux de survie des alevins.

4.4. La croissance des larves et des alevins

Les larves et alevins au cours de cycle de production ont pesé pour suivre l'évolution de leur poids. Les résultats obtenus sont notés dans le tableau 4 ci-dessous.

Tableau 4 : Poids des larves et des alevins au cours de leur croissance

Lots	Larves	Alevins
------	--------	---------

	Pi (g)	Pf (g)	P1	P2 (g)
B1	0,006	0,32	0,89	7,25
B 2	0,005	0,25	0,76	6,50
B 3	0,004	0,16	0,67	4,75

L'analyse des résultats du tableau nous montre que le poids des larves et des alevins le plus élevé est noté dans le bassin 1, suivi des bassins 2 et 3. Ces résultats indiquent que la croissance des larves et des alevins est inversement proportionnelle à la densité dans les bassins. Plus la densité est élevée dans les bassins moins la croissance sera rapide.

Les poids des alevins obtenus en fin de cycle sont inférieurs à ceux obtenus par CHUKWUKADIBIA, 2016 dans la reproduction artificielle du *Clarias*.

5. CONCLUSION

L'objectif prioritaire recherché dans cette étude était de maîtriser la technique de la reproduction artificielle du *Clarias gariepinus* dans les conditions climatiques du Mali en général et particulièrement dans celles de la région de Koulikoro, afin de contribuer au développement de la pisciculture dans cette région sud du Mali. Au vu des résultats obtenus, c'est-à-dire : une production d'alevins de 22055 alevins vivants obtenus sur un total de 75000 œufs mis en incubation, ce qui correspond à un taux de survie total de 29,40 %, on peut vulgariser la reproduction artificielle pour approvisionner les pisciculteurs en alevins de qualité de façon soutenue.

REFERENCES

- [1] Adewumi, A.A., and Olaleye, V.F. 2011. Catfish Culture in Nigeria: Progress, prospects and problems. *African journal of Agricultural Research*, vol.6.6, pp.1281-1285.
- [2] Chukwukadibia, T.M. Fish farming: The value approach. In Him Resources Ltd. 39, Salami Sabiu Street, Pedro, Palmgrove, Lagos, 2016.
- [3] DNP, 2015: Rapport annuel de 2015, 47 pages.
- [4] FAO, 2018 : Situation mondiale des pêches et de l'aquaculture, 2018, 254 pages.
- [5] FAO, 2020 : Situation mondiale des pêches et Aquaculture, 2020, 247 pages.
- [6] Institut National de la statistique. 2016: Recueil de données du système d'information sur la pêche (SIPA). Recueil de données, 24 pages.
- [7] Olaiya, F.E. 2015. Food Security: The perspective of Aquaculture and Fisheries, Faculty lecture, University of Ibadan, Nigeria, Faculty of Agriculture and Forestry.
- [8] Viveen, W.J.A.R. Richter, C.J.J. Van Oordt, P.G.W.J. Janssen, J.A.L. Huisman, E.A. Manuel pratique de pisciculture du poisson-chat africain (*clarias gariepinus*). Ministère de la Coopération au Développement des Pays-Bas, 1985
- [9] Megbowon, I., Fashina-Bombata, H.A., Akinwale, M.M-A, Hammed, A.M, Okunade, O.A

and Mojekwu T.O. Breeding Performance of *Clarias gariepinus* Obtained From Nigerian Waters. *Journal*

of Agriculture and Veterinary Science volume 6, issue 3: 06-09

Etude comparative de deux sources de fumures phosphatées et quatre doses de fumures azotées en système de riziculture intensif sous irrigation par aspersion dans la zone soudano - sahélienne de Katibougou

KOUYATE Aliou Badara*, DEMBÉLÉ Sidiki Gabriel, COULIBALY Chô
 Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée, Koulikoro, Mali
 *Adresse de l'auteur correspondant : aloubadarakouyate@yahoo.fr

RESUME : Le phosphore et l'azote sont des éléments minéraux nutritifs essentiels aux plantes en général et en particulier pour le riz. Toute carence en ces éléments entraînerait une baisse significative des rendements. Pourtant les sols du Mali sont en général pauvres en phosphore assimilable ce qui constitue une contrainte majeure pour la production du riz.

L'objectif général de cette étude était de contribuer à l'amélioration de la production du riz au Mali. Deux facteurs ont fait l'objet d'étude : le type d'engrais phosphaté à deux niveaux de variation : DAP et PNT et la dose d'engrais azoté à quatre niveaux de variation : N50, N75, N100 et N125. Le dispositif expérimental utilisé était le bloc de Fisher en trois répétitions. Les résultats obtenus ont montré que le rendement biomasse a été significativement influencé par le type de phosphore. Les parcelles fertilisées avec le DAP ont eu un rendement paille significativement supérieur ($p < 0,05$) à celles du PNT. Le rendement a varié de 4 651 à 2 722 kg/ha respectivement pour le DAP et le PNT soit un taux d'accroissement de 71 %. L'apport de l'azote à différentes doses d'application a eu un impact significatif sur le rendement biomasse du riz. L'apport de l'azote à 50 kg/ha a enregistré le rendement biomasse significativement inférieur à l'apport de l'azote aux doses de 100 et 125 kg/ha. Le DAP de façon générale a été plus efficace que le PNT et l'apport de l'azote à dose croissante a permis une augmentation des rendements grains et pailles du riz.

Mots clés : DAP, fertilisation, PNT, Riz, SRI.

1. INTRODUCTION

Au Mali, l'économie repose essentiellement sur l'Agriculture qui occupe près de 75% de la population active pour une contribution de 40,90% au PIB et fournit 30% des recettes d'exportation [1].

Toutefois, en raison de la pauvreté des sols, des précipitations irrégulières et des contraintes biotiques et abiotiques, des contraintes technologiques, la productivité agricole reste faible, ce qui rend difficile la réponse aux besoins alimentaires d'une population sans cesse croissante et de plus en plus urbanisée [2].

La fertilisation du riz au Mali est surtout basée sur l'application des engrais minéraux. Ces engrais coûtent cher, difficiles d'accès et causent d'énormes problèmes environnementaux et de santé humaine. Cependant, l'application simple de fumure organique ne permet pas de satisfaire les besoins en rendement des producteurs bien qu'elle garantisse à la longue une bonne fertilité du sol et une protection contre la pollution. L'utilisation des fumures organo-minérales est proposée comme solution pour maintenir la fertilité du sol et augmenté la productivité de cette culture dont les besoins en phosphore sont importants. Le phosphore fait partie des éléments minéraux nutritifs essentiels aux

plantes en général et au riz en particulier [3]. Toute carence en cet élément entraîne une baisse des rendements [3]. Pourtant les sols du Mali sont en général pauvres en phosphore, ce qui constitue une contrainte majeure pour la production du riz.

L'emploi des engrais phosphatés, permet d'augmenter significativement le rendement du riz au-delà de 3 331 kg/ha⁻¹ au niveau national pour tout système de culture confondu [4].

Le Mali dispose d'importants gisements de phosphate dans la vallée du Tilemsi. Ces gisements qui sont estimés entre 20 et 25 millions de tonnes [5], sont une source potentielle de phosphore bon marché pour les agriculteurs.

D'origine ignée, métamorphique ou sédimentaire, les phosphates naturels sont en effet de véritables sources de phosphore surtout dans les sols acides [6]. Contrairement au Di-Ammonium phosphaté au niveau duquel le phosphore est immédiatement disponible dès son application, les phosphates naturels libèrent progressivement le phosphore dans le sol, ce qui engendre des effets résiduels les années qui suivent leur application [7].

Le phosphate naturel de Tilemsi (PNT) fait partie des phosphates directement utilisés en agriculture

[8]. Donc l'application directe de PNT pourrait être rentable en comparaison avec les engrais phosphatés importés.

Le Système de Riziculture Intensif (SRI) est un système de riziculture qui permet de produire mieux avec peu d'investissements. L'adaptation des principes du SRI développés à l'origine pour la riziculture avec maîtrise totale de l'eau au système de riziculture pluviale permettra d'améliorer le rendement du riz en production pluviale. Le défi de l'adaptation du SRI à la culture pluviale du riz nécessite, l'identification de formule et de pratique de fertilisation efficace pour améliorer la production et aussi la fertilité du sol. Le recours aux fertilisants locaux comme les phosphates naturels sera une opportunité pour améliorer la fertilisation surtout la disponibilité du phosphore et la réduction du coût de production. L'objectif cette étude est d'identifier une formule de fertilisation phosphatée (type et dose) adéquate pour améliorer la production du riz pluvial cultivée sous SRI en zone soudano sahélienne du Mali.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1 Matériel

- **Site de l'étude**

L'étude a été conduite pendant 3 ans (Avril 2013 à Décembre 2015) sur la parcelle expérimentale de l'Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) à Katibougou. Ce site est situé entre 12°56' de latitude Nord et 7°37' de longitude Ouest et à une altitude de 326 m. Le climat est de type soudano-sahélien avec une longue saison sèche qui s'étend d'octobre à mai et une courte saison des pluies de juin à septembre. Les précipitations oscillent entre 745,3 et 1042 mm avec une moyenne annuelle de 857,91 mm. Les sols ferrugineux tropicaux sont les types dominants dans la zone.

- **Sol de la parcelle**

Le sol de l'essai est du type ferrugineux tropical, à texture limoneuse, les analyses ont montré que le sol est acide, pauvre en éléments nutritifs et en matières organiques dont les teneurs sont représentées dans le tableau 1.

Tableau 1. Analyses du sol (0 - 20 cm) de l'essai

Analyse chimique	
pH eau	5,34
pH Kcl	5,09
M.O (%)	0,7
N(%)	0,03
P assimilable (mg kg ⁻¹)	2,11
Potassium (mg kg ⁻¹)	6,04
Granulométrie (%)	
Sables	25,81
Limons	56,94
Argiles	17,25

Classe texturale	
------------------	--

- **Matériel végétal**

Le matériel végétal est composé essentiellement de la variété NERICA 4 du riz dénommée « Dususuma malo » en langue locale, est obtenue et maintenue par l'IER (Mali). Elle a un rendement moyen de 4,5 à 5 tha⁻¹ en station.

- **Composition des fertilisants utilisés**

Engrais organique : L'engrais organique utilisé au cours de cette étude est la fiente de volaille séchée sous hangar qui renferme 80 % de la matière sèche, 40 kg d'N/t, 40 kg de P₂O₅/t et 28 kg de K₂O/t.

Engrais minéraux : Les engrais minéraux utilisés sont le DAP (18-46-0), l'urée 46% d'azote et le phosphate naturel de Tilemsi (PNT) 30% de P₂O₅.

2.2 Méthodes

- **Dispositif expérimental et collecte des données**

L'essai a été conduit sur un dispositif factoriel en bloc de Fisher et les facteurs étudiés sont : (i) le type de phosphore avec deux (2) niveaux de variation : DAP et PNT (ii) l'apport de l'azote sous forme d'urée quatre niveaux de variation représentant les (4) doses : (N50) 50 kg de N ha⁻¹ ; (N75) 75 kg de N ha⁻¹ ; (N 100) 100 kg de N ha⁻¹ d'azote ; (N 125) 125 kg de N ha⁻¹. La fiente de volaille a été apportée sur l'ensemble des parcelles élémentaires à raison de 5 t ha⁻¹ enfouie avant le semis.

- **Paramètres observés**

Les observations ont porté sur les plants sur les lignes centrales à raison de quatre plants par lignes. L'échantillonnage aléatoire simple a été utilisé pour le choix des plants d'observation.

Les paramètres suivants ont été évalués :

- **Mesure de la hauteur moyenne des plants**

Elle s'est déroulée à trois reprises (45^{ème}, 60^{ème} et 75^{ème} JAR) et porte sur une tige de bas (collet) à l'extrémité supérieure de la dernière feuille à chaque séance d'observation.

- **Comptage du nombre moyen de talles par plant**

Il s'est effectué de façon intégrale à chaque reprise et aux mêmes rythmes que la mesure de la hauteur moyenne des plants (45^{ème}, 60^{ème} et 75^{ème} JAR).

- **Comptage du nombre moyen de panicules par plant**

Toutes les panicules développées, sur les plants à observer et en vie ont été compté de façon intégrale.

- **Mesure de la longueur moyenne des panicules**

La longueur des panicules a été mesurée à l'aide de règle graduée du début de sa ramification au sommet.

Récolte et évaluation des rendements

Evaluation des rendements grains et de la biomasse aérienne

Le rendement grain du riz a été déterminé à la récolte après maturation complète des grains. Les panicules récoltées sur chaque parcelle élémentaire ont été séchées au soleil et battues. Les graines de riz après vannage, ont été ensuite pesées.

Le rendement (Rdt) en grains par unité expérimentale a été converti en kg ha^{-1} en utilisant la formule suivante :

$$\text{Rdt grain (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{Rdt en kg grain m}^{-2} \times 10\,000 \text{ m}^2 \quad (1)$$

Le rendement de la biomasse sèche a été déterminé sur les plants d'observation. La biomasse des plantes a été déterminée après séchage au soleil dans les conditions du milieu ambiant pendant 10 jours. Le séchage a été suivi par la pesée avec une balance de précision. Le rendement de la biomasse sèche par unité expérimentale a été aussi converti en kg ha^{-1} par la formule :

$$\text{Rdt biomasse (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{Rdt en kg de la biomasse m}^{-2} \times 10\,000 \text{ m}^2 \quad (2)$$

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Résultats

- **Effets de la fumure sur le taux moyen de reprise des plants**

Les résultats des analyses des effets du type d'engrais phosphaté et de la dose d'engrais azoté sur le taux moyen de reprise des plants sont consignés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Effets du type d'engrais phosphaté et de la dose d'engrais azoté sur le taux moyen de reprise des plants au 7^{ème} jour après semis.

Traitements	Taux moyen de reprise des plants (%)
Type de phosphore	
DAP	78,02
PNT	78,18
Probabilité	0,938
Doses d'engrais azoté	
N50	81,25
N75	77,71
N100	78,13
N125	75,31
Probabilité	0,247
Moyenne générale	78,10
Interaction (type de phosphore x doses d'azote)	
Probabilité	0,021
CV (%)	6,2

L'apport des différents types de phosphore n'a pas eu un effet significatif ($p. > 0.05$) sur le taux moyen de reprise des plants au 7^{ème} JAR. Il en est de même pour les différentes doses d'azote utilisées (tableau 2).

Effets d'interaction entre le type de phosphore et la dose d'engrais azoté sur le taux moyen de reprise des plants.

Les résultats des analyses d'interaction du type d'engrais phosphaté et de la dose d'engrais azoté sur le taux moyen de reprise des plants sont consignés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Effets d'interaction entre le type de phosphore et la dose d'engrais azoté sur le taux moyen de reprise des plants.

Traitement	Taux de reprise des plants (%)
T1 : DAP + N50	85,42 a
T2 : DAP + N75	79,79 ab
T3 : DAP + N100	76,88 abc
T4 : DAP + N125	70 c
T5 : PNT + N50	77,09 abc
T6 : PNT + N75	75,63 bc
T7 : PNT + N100	79,38 ab
T8 : PNT + N125	80,62 ab

Les valeurs affectées d'une même lettre sur la colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 %.

L'interaction du type de phosphore et la dose d'engrais azoté a eu une influence significative sur le taux moyen de reprise des plants. Le DAP.N50 a enregistré un taux moyen de reprise de 85,42 % appartenant au groupe homogène a, il est suivi du PNT.N125, DAP.N75 et du PNT.N100 avec des taux moyens respectivement 80,62 % ; 79,79 et 79,38 % ; ils appartiennent au groupe homogène ab. Les traitements PNT.N50 et le DAP.N100 appartenant au groupe homogène abc ont enregistré respectivement des taux moyens de 77,09 et 76,88 %. Un taux moyen de reprise de 75,63 % a été enregistré pour le traitement PNT.N75 appartenant au groupe ab. Le traitement DAP.N125 a donné le plus faible taux de reprise avec 70 %, il appartient au groupe homogène c.

Effets du type d'engrais phosphaté et de la dose d'engrais azoté sur la hauteur moyenne des plants (HMP) au 45^{ème}, 60^{ème} et 75^{ème} jour après semis.

Les résultats des analyses des effets du type d'engrais phosphaté et de la dose d'engrais azoté et sur la hauteur moyenne des plants (HMP) au 45^{ème}, 60^{ème} et 75^{ème} jour après semis sont consignés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Effets du type d'engrais phosphaté et de la dose d'engrais azoté et sur la hauteur moyenne des plants (cm).

Traitements	45 ^{ème} JAR	60 ^{ème} JAR	75 ^{ème} JAR
Type de phosphore			
DAP	32,83	51,46	62,3
PNT	32,39	49,71	60
Probabilité	0,682	0,354	0,310
Doses d'engrais azoté			
N50	33,65	49,93	61,0
N75	31,59	47,58	58,8
N100	32,95	51,77	59,8
N125	32,25	53,05	64,9
Probabilité	0,572	0,215	0,252
Moyenne générale	32,61	50,58	61,1
Interaction (type de phosphore x doses d'azote)			
Probabilité	0,424	0,611	0,971
CV (%)	8,0	8,9	8,7

Les apports du type de phosphore et des doses d'engrais azoté n'ont pas eu un effet significatif sur la hauteur moyenne des plants ($p > 0,05$).

L'interaction entre le type de phosphore et la dose d'engrais azoté n'a pas impacté de façon significative la hauteur moyenne des plants (tableau 4).

Effets du type d'engrais phosphaté et de la dose d'engrais azoté sur le nombre moyen de talles par plant (NMT/P) au 45^{ème}, 60^{ème} et 75^{ème} jour après semis.

Les résultats des analyses des effets du type d'engrais phosphaté et de la dose d'engrais azoté sur le nombre moyen de talles par plant au 45^{ème}, 60^{ème} et 75^{ème} jour après semis sont consignés dans le tableau 5.

Tableau 5: Effets du type d'engrais phosphaté et de la dose d'engrais azoté sur le nombre moyen de talles par plant au 45^{ème}, 60^{ème} et 75^{ème} JAS.

Traitements	45 ^{ème} JAR	60 ^{ème} JAR	75 ^{ème} JAR
Type de phosphore			
DAP	4,78	7,33	11,20 a
PNT	4,18	6,88	9 b
Probabilité	0,096	0,458	0,017
Doses d'engrais azoté			
N50	4,92	7,12	9,51
N75	4,04	6,20	9,25
N100	4,90	8,12	10,87
N125	4,04	6,98	10,76
Probabilité	0,130	0,188	0,390
Moyenne générale	4,48	7,10	10,10
Interaction (type de phosphore x doses d'azote)			
Probabilité	0,679	0,505	0,335
CV (%)	18,3	20,2	19,6

Les valeurs affectées d'une même lettre sur la colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 %.

Au 45^{ème} et au 60^{ème} jour après semis, l'analyse de variance ne fait ressortir aucune différence significative sur le nombre moyen de talles par plant. Ce qui explique que le type d'engrais phosphaté et la dose d'engrais azoté n'ont pas eu d'effets significatifs sur le nombre moyen de talles par plant pour ces deux dates.

Une différence significative a été décelée entre les deux (2) types d'engrais phosphatés au 75^{ème} JAS ($p < 0,05$). L'apport du DAP a permis d'obtenir un nombre moyen de talles par plant significativement supérieur à celui du PNT (tableau 5). Ce nombre a varié de 11,20 contre 9 talles par plant respectivement pour le DAP et le PNT.

L'interaction entre le type de phosphore et la dose d'engrais azoté n'a eu aucun impact significatif sur le nombre moyen de talles par plant au cours des 3 périodes d'observation.

Effets du type d'engrais phosphaté et de la dose d'engrais azoté sur le nombre et la longueur moyenne d'une panicule par plant.

Les résultats des analyses sur ces variables sont consignés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Effets du type d'engrais phosphaté et de la dose d'engrais azoté sur le nombre et la longueur moyenne d'une panicule par plant.

Traitements	NMP/P	LMP/P (cm)
Type de phosphore		
DAP	7,54	17,70
PNT	6,39	17,65
Probabilité	0,185	0,913
Doses d'engrais azoté		
N50	6,23	17,90
N75	6,07	16,55
N100	7,07	18,18
N125	8,49	18,07
Probabilité	0,191	0,140
Moyenne générale	6,97	17,68
Interaction (type de phosphore x doses d'azote)		
Probabilité	0,602	0,529
CV (%)	28,9	7,2

Il ressort de l'analyse de la variance que les facteurs étudiés n'ont pas eu un effet significatif sur le nombre moyen de panicule par plant ainsi que la longueur moyenne de panicule par plant. Il est en

même pour l'interaction type de phosphore et dose d'engrais (tableau 6).

L'interaction entre le type de phosphore et la dose d'engrais azoté n'a eu aucun effet significatif sur le nombre et la longueur moyenne d'une panicule par plant.

Effets du type d'engrais phosphaté et de la dose d'engrais azoté sur le poids de 1000 grains, rendement grain et rendement paille.

Les résultats des analyses de variance sur ces trois variables sont consignés dans le tableau 7 et les figures 1 et 2.

Tableau 7 : Effet du type d'engrais phosphaté et de la dose d'engrais azoté sur le poids de 1000 grains (PMG), rendement grain (RDT/G) et rendement paille (RDT/P).

Traitements	PMG (g)	RDT/P (kg/ha)	RDT/G (kg/ha)
Type de phosphore			
DAP	21,54	4 651 a	1 515
PNT	21,47	2 722 b	1 352
Probabilité	0,951	0,004	0,62
Doses d'engrais azoté			
N50	22,03	2 589 a	976
N75	19,45	3 000 ab	876
N100	21,06	4 338 b	1 781
N125	23,48	4 819 b	2 102
Probabilité	0,107	0,03	0,06
Moyenne générale	21,51	3 686	1 434
Linéaire	-	0,02	0,02
Quadratique	-	0,95	0,53
Interaction (type de phosphore x doses d'azote)			
Probabilité	0,793	0,792	0,62
CV (%)	12,3	44,3	56,1

Les valeurs affectées d'une même lettre sur la colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 %.

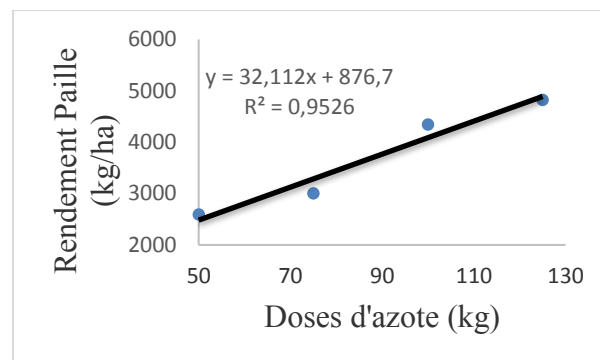


Figure 1 : Modèle d'évolution du rendement grain riz en fonction de la dose d'azote

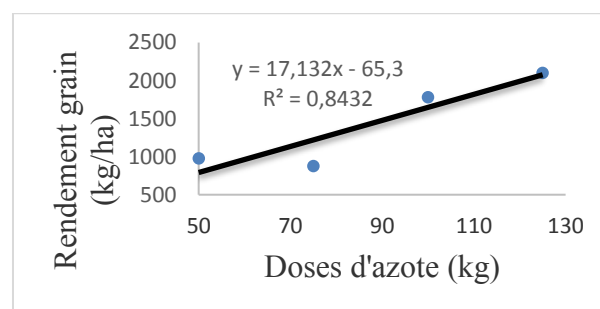


Figure 2 : Modèle d'évolution du rendement paille riz en fonction de la dose d'azote

Le poids de mille grains ainsi que le rendement grain n'ont pas été significativement influencé par les facteurs étudiés ($p > 0,05$) (tableau 7).

Cependant le rendement biomasse a été significativement influencé par le type de phosphore. Les parcelles fertilisées avec le DAP ont eu un rendement paille significativement supérieur ($p < 0,05$) à celles du PNT. Le rendement a varié de 4 651 à 2 722 kg/ha respectivement pour le DAP et le PNT soit un taux d'accroissement de 71 %.

L'apport de l'azote à différentes doses d'application a eu un impact significatif sur le rendement biomasse du riz. L'apport de l'azote à 50 kg/ha a enregistré le rendement biomasse significativement inférieur à l'apport de l'azote à la dose de 100 et 125 kg/ha. On constate un ajustement linéaire avec l'apport de différentes doses d'azote (tableau 7 et figure2).

L'interaction entre type de phosphore et dose d'engrais azoté n'a eu aucun impact significatif sur le poids de mille graines, le rendement paille et le rendement grains.

IV. DISCUSSIONS

Effets des facteurs étudiés sur les composantes de rendement du riz

Les composantes de rendement du riz n'ont pas été significativement influencées par l'apport de différents types de phosphore excepté le nombre moyen de talles au 75^{ème} JAR. Cependant on note de façon générale un accroissement de ces paramètres avec l'apport du DAP comparé au PNT. Cela peut

s'expliquer par le fait que la libération du phosphate est plus rapide et son absorption par les plantes avec le DAP que le PNT. La libération précoce d'une grande quantité de P (hydrosoluble) stimule le développement précoce des racines et la capacité de la plante à absorber l'eau et les autres nutriments [9].

D'une manière générale on observe que sur les paramètres de croissance du riz aucune différence significative n'a été observée entre les différents traitements. Toutefois on remarque un modèle d'évolution linéaire des différents paramètres en fonction de l'augmentation de la dose d'azote. Ces résultats sont contraires à ceux obtenus par [10] qui a observé un modèle d'évolution quadratique des paramètres de croissance du riz avec un accroissement de la quantité d'azote.

Effets des facteurs étudiés sur le rendement grain et biomasse du riz

Le type de phosphore et différente dose d'azote n'ont pas eu une influence significative sur le rendement grain du riz, par contre le rendement paille a été influencé de façon significative par le type de phosphore et les doses d'engrais azoté.

Les parcelles fertilisées avec le DAP ont eu un rendement paille significativement supérieur à celles du PNT. Le rendement a varié de 4 651 à 2 722 kg ha^{-1} respectivement pour le DAP et le PNT soit un taux d'accroissement de 71 %. L'accroissement du rendement paille qui fait suite à un bon développement végétatif des plants de riz avec le DAP comparé au PNT s'explique par non seulement la dissolution rapide du DAP et sa teneur en azote comparé au PNT qui favorise un tallage abondant. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par [10] qui a enregistré une augmentation significative du rendement paille de 2811 à 3 219 kg ha^{-1} respectivement pour le DAP et le PNT.

L'apport de l'azote à différentes doses d'application a eu un impact significatif sur le rendement biomasse du riz. Son apport à 50 kg ha^{-1} a donné un rendement biomasse significativement inférieur à la dose de 100 et 125 kg ha^{-1} . L'azote est essentiel pendant toute la croissance végétative de la plante. En favorisant le développement foliaire, il augmente le rendement de la photosynthèse, donc la croissance des parties aériennes (tiges et feuilles).

Des résultats similaires ont été obtenus par [2], [11], dont les travaux de recherche ont globalement porté sur les formules de fertilisation et la comparaison des variétés et des systèmes de culture riz.

V. CONCLUSION

Au terme de cette étude comparative de l'effet du PNT par rapport au DAP sur le riz en zone soudanienne de Katibougou, il ressort des résultats que :

Les types de phosphore utilisés ont influencé significativement le nombre de talles au 75^{ème} jour après le repiquage. Ainsi le plus grand nombre de talles moyens par plant a été enregistré par le DAP avec 11,20 et le PNT a eu le plus faible nombre de talles soit 9. Le rendement biomasse a été significativement influencé par le type de phosphore. Les parcelles fertilisées avec le DAP ont eu un rendement paille significativement supérieur à celles du PNT.

L'apport de l'azote à différentes doses d'application a eu un impact significatif sur le rendement biomasse du riz. L'apport de l'azote de 100 à 125 kg ha^{-1} a permis un accroissement significatif du rendement biomasse comparé aux doses 50 et 75 kg ha^{-1} . Ainsi pour l'amélioration de la production du riz pluvial sous SRI l'utilisation du DAP avec une dose d'urée supérieure à 100 kg ha^{-1} peut être la formule à suggérer.

REFERENCES

- [1] INSTAT. 2018 : Le Mali en chiffre 2012-2016 - 28 pages.
- [2] MOILIMOU A 2017 : Impact de la fertilisation et de systèmes de riziculture sur le comportement du riz pluvial sous irrigation par aspersion en zone soudanienne du Mali. Mémoire de Fin de Cycle de Master, IPR/IFRA de Katibougou, 87 pages ;
- [3] KOTCHI 2010 : Réponses de 5 variétés de Riz à l'apport de phosphate naturel de Tilemsi (Mali) sur les sols acides de la région forestière humide de Man (Côte d'Ivoire), J. Appl science. 11 pages.
- [4] FAO. 2016 : Amélioration de la production du riz en Afrique de l'Ouest, produire mieux avec peu. Eclairage sur la contribution d'APRAO au développement du secteur rizicole au Mali, 4 pages.
- [5] SONAREM (Société Nationale de Recherche Minière). 1988 : Le phosphate de Tilemsi, quelques informations sur sa production industrielle et son utilisation en agriculture. Rapport projet phosphates, 28 pages ;
- [6] KOUYATE AB, IBRAHIM A, SERME I, DEMBELE SG.2020:
Réponses du sorgho à l'apport de différentes formes de phosphate naturel de Tilemsi combiné avec de fertilisants solubles dans un système de production à faible intrant au Mali.
Int. J. Biol. Chem. Sci. 14(9): 3285-3296.
- [7] KAMBOULE Y P. 1984 : Arrière effets des phosphates naturels et des phosphates améliorés à Gampela de 1981 à 1984. Mémoire de fin de cycle ingénieur des techniques de développement rural, ISP - Université de Ouagadougou, Burkina Faso.

[8] PIERI C.1967 : Le point sur les essais de fertilisation des céréales de culture sèche réalisés au Mali de 1954 à 1970-Doc. RONEO IRAT/ MALI Section d'étude des sols-50 pages.

[9] DEMBELE S G, KOUYATE A B, COULIBALY A, FAMANATA M, ARI K, 2017 ; Effets de la fertilisation phosphatée sur la croissance et le rendement du haricot vert en zone soudano-sahélienne du Mali. Communication MSAS 2020-10 pages.

[10] DAGI A. 2019 : Réponses du riz aux différentes sources et doses de fumures phosphatées en système de riziculture intensif sous irrigation par aspersion dans la zone soudano-sahélienne du Mali, mémoire de fin de cycle ingénieur 45 pages.

[11] TRAORE A et TEME . 2018 : Evaluation de l'impact du type de fumure et de la variété sur le riz pluvial en système de riziculture intensive sous aspersion en zone soudanienne du Mali. Mémoire de Fin de Cycle ingénieur, IPR/IFRA de Katibougou, 60 pages

Tests d'efficacité de quelques substrats végétaux dans la production de blanc-mères et de carpophores de 5 souches de champignons sauvages comestibles du Mali

Karim Dagno¹, Mahamoudou Traoré^{1,2}, Moussa Kanté³

¹IER, Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba, Bamako, Mali

²Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée, Koulikoro, Mali

³Université de Ségou, Ségou, Mali

Email : karimdagno@yahoo.fr

RESUME: L'insécurité alimentaire sévère et modérée touche 49% de la population du Mali. Les champignons sauvages comestibles poussent naturellement en faible quantité et de façon aléatoire et sont menacés de disparition. Cette étude vise la valorisation des aliments traditionnels par la production en toute saison de quelques espèces de champignon sauvages par des méthodes simples et moins coûteuses. Isolement des souches sauvages (KD00, KD002, JD1460, JD1478 et PG) et multiplication du mycélium sur un milieu gélosé. Les blanc-mères sont produits sur grains de sorgho, maïs, paddy, mil, marc de café et marc de thé et les sporophores produits sur substrats végétaux sont pasteurisés avant d'êtreensemencé par les blanc-mères et incubés pendant 4 semaines à l'obscurité. La technique de 'Gobetage' utilisée pour produire les sporophores. Les souches sauvages ont poussé avec succès sur milieu PDA. Le mil, le sorgho et le paddy ont donné le meilleur blanc mère avec toutes les souches après 4 semaines d'incubation. La paille de riz, la sciure de bois sont identifiées comme meilleurs pour produire les souches PG, PO, JD1460 et JD1478 pour la production de carpophore. La méthode de production est adaptée aux conditions des organisations féminines. Les meilleurs substrats végétaux devront encore être améliorés par les additifs.

Mots clés : Champignon, comestible, sporophore, blanc-mère, Mali

I. INTRODUCTION

Le champignon le plus cultivé dans le monde est *Agaricus bisporus*, suivi de *Lentinus edodes*, *Pleurotus* spp, et *Flammulina velutipes*. La production de champignons augmente continuellement, la Chine étant le plus gros producteur du monde [1]. De plus, les champignons sauvages sont de plus en plus importants pour leurs caractéristiques nutritionnelles, sensorielles et surtout pharmacologiques [2]. Sur plus de 300 espèces fongiques comestibles recensées en Afrique tropicale, très peu font l'objet de culture artificielle [3]. Autrefois considérés comme des aliments à faible valeur nutritive, les champignons comestibles revêtent aujourd'hui un intérêt particulier. A cet effet, les populations locales considèrent les champignons comestibles comme un aliment « santé » et n'hésitent pas à les inclure dans une diète visant une bonne santé cardiovasculaire [4]. Les champignons sauvages comestibles ont une grande contribution dans la vie des populations africaines qui en font un exemple surtout en milieu rural Ouest Africain [5]. A l'instar des plantes médicinales, les champignons sont reconnus pour leurs propriétés biologiques, anticancéreux, hypocholestérolémiants, immunostimulants, antioxydants [6]. A cet effet, ils constituent des produits d'accompagnement important des repas et d'appoint pour l'alimentation humaine, principalement en zone rurale et apportent une excellente valeur nutritive [7].

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes intéressés aux champignons supérieurs comestibles.

L'insécurité alimentaire touche 49% de la population du Mali et elle est l'une des priorités des politiques publiques [8]. De plus, les céréales constituent la base de l'alimentation de plus de 80% de la population et cette alimentation est caractérisée par non seulement sa pauvreté en vitamines et sels minéraux mais également par sa faible diversité en ingrédients de condiments indispensables pour les personnes vulnérables (enfants et personnes âgées) [9]. Par ailleurs, les zones soudano sahéliennes du Mali possèdent un potentiel de ressources forestières non ligneuses dont les champignons sauvages comestibles poussant spontanément sur le bois mort et sur d'autres matières organiques très souvent aléatoire et en faible quantité à cause du changement climatique [10].

L'intérêt de l'innovation portée par nos travaux est de favoriser la consommation des champignons sauvages comestibles en proposant une alternative à leur saisonnalité par leur production en toute saison et en grande quantité. Elle contribuera significativement à réduire la malnutrition chez les populations du sud Mali où elle affecte 16% des enfants [11].

Ceci justifie pleinement tout l'intérêt du présent travail qui porte sur « Tests d'efficacité des sous-

produits agricoles dans la production de blanc-mères et de carpophores de 5 souches de champignons sauvages comestibles du Mali ».

Pour la durabilité de la culture des champignons, le choix des substrats doit tenir compte de la disponibilité des ressources locales (sous-produits d'origine agricole ou agro-industrielle), largement disponibles en Afrique [12].

Les espèces de champignons comestibles utilisées dans cette étude sont issues de la Collection Malienne des Champignons Sauvages Comestibles qui est riche de 25 espèces. Toutes ces espèces ont été collectées dans les forêts soudano sahéliennes du Mali. Quatre espèces ont été utilisées dans notre étude dont *Lentinus squarrosulus* (Souches KD00 et JD1478), *Pleurotus cystidiosus* (Souche KD006) et *Pleurotus populinus* (Souche PG), *Chlorophyllum palaeotropicum* (Souche JD1460), et une espèce commerciale *Pleurotus oestreatus*(PO) qui a servi de témoin dans cette étude.

L'objectif général de cette étude est de contribuer à la sauvegarde du patrimoine génétique des champignons sauvages comestibles et à la sécurité alimentaire par leur production en toute saison au Mali.

De façon spécifique, il s'agit de :

- Déterminer la croissance radiale de 4 différentes espèces sur le milieu PDA.

- Vérifier la production de blanc- mères des souches KD00, KD006, JD1460, JD1478 et PG sur les grains de céréales et substrats d'origine animale.
- Dégager la capacité de production des carpophores des souches KD00, KD006, JD1460, JD1478 et PG sur substrats d'origine végétale et animale.
C'est ainsi que nos questions de recherche étaient :
- Est-ce-que le milieu PDA est favorable pour la multiplication des espèces des champignons sauvages comestibles du Mali ?
- Quelles sont les différents substrats végétaux locaux qui favorisent la production des blanc- mères et de carpophores des champignons sauvages comestibles du Mali ?
- A la lumière de ce qui précède, nous avons formulé les hypothèses suivantes :
- Des substrats d'origine végétale ou animale favoriseraient la production optimale des champignons sauvages comestibles du Mali.
- Le milieu gélosé de dextrose et d'extrait de pomme de terre(PDA) sont des milieux favorables pour la multiplication des souches des champignons sauvages comestibles du Mali.

II. MATERIELS ET METHODES

2.1 Matériel fongique

Tableau 1 : Champignons sauvages comestibles du Mali utilisés dans l'étude

N ^o	Espèces	Souches	Zone de Collecte	Latitude ⁽⁰⁾	Longitude ⁽⁰⁾	Année
1	<i>Chlorophyllum palaeotropicum</i>	JD1460	Bougouni Stabakorolen	11.30958	-7.69497	2017
2	<i>Lentinus Squarrosulus</i>	JD1478	Bougouni Madina K.	11.34734	-7.70288	2017
3	<i>Lentinus Squarrosulus</i>	KD00	Bamako Sotuba ferme	12-653-99	007-92-579	2020
4	<i>Pleurotus Cystidiosus,</i>	KD006	Bamako Sanankoroba Digato	11.25.60	008.13.0	2019
5	<i>Pleurotus Populinus</i>	PG	Bamako Sotuba	12,6.52.70	007.92.74	2018

Tableau 2 : Espèce commerciale de champignon comestible

Espèces	Souches	Zone de Collecte
<i>Pleurotus oestreatus</i>	PO	Mycellia Veldeken 27, 9850 Deinze, Belgique

2.2 Matériel végétale

Pour le test de production des blanc- mères des différentes souches de champignons, les substrats testés figurent dans le tableau 3.

Tableau 3 : Substrats d'origine végétale utilisés dans l'étude sur la production de blanc-mères

Substrats	Zones d'origine
Sorgho	Commerce-céréale
Mil	Commerce-céréale
Maïs	Commerce-céréale
Riz paddy	Commerce-céréale
Marc de thé	Menagères
Marc de café	Hôtels

Pour la production des carpophores proprement dite, six substrats d'origine végétale et animale ont été testés tels que rafle de maïs, paille de riz, sciure de bois (*Delonix regia*), fumier de ferme, marc de thé et de café.

2.3 Préparation du milieu de culture

Le milieu de culture pour étudier la croissance radiale des espèces de champignons comestibles a été le Potato Dextrose Agar (PDA; Merck, Darmstadt, Allemagne). Il a été préparé en se référant à la dose du fabricant (39g/L).

Le mélange a été stérilisé dans l'autoclave à 120°C pendant 20 min. Le milieu est ensuite coulé dans des boîtes de pétri sous hôte lumineuse qui est un milieu stérile. Les boîtes para filmées sont conservées dans une armoire sous température ambiante.

2.4. Croissance des champignons sauvages comestibles sur milieu PDA

Un millimètre d'une culture de 3 mois conservée à 5°C a été utilisé. La pastille a été déposée au milieu d'une boîte de Pétri de 90mm de diamètre. Trois boîtes par souche ont été inoculées [13]. Les boîtes inoculées sont mises en incubation à 25°C sous photopériode de 0h. La croissance radiale a été mesurée chaque 24h jusqu'à colonisation totale de la boîte suivant 2 demi droites perpendiculaires. La vitesse moyenne de croissance des souches a été calculée par le rapport décrit par [14]:

$$VMC = \frac{vf-vi}{tf}$$

2.5. Production du blanc-mère

Un dispositif Fisher en six traitements ont été testé en trois répétitions pour la production de blanc mère :

Traitement 1 : grains de sorgho: les graines sont réparties dans des bocaux (350ml) à raison de 100g en additionnant 1 g de calcaire pour 80mL d'eau distillé. Recouvrir le couvercle des bocaux avec du papier aluminium et le stérilisé pendant 20 mn à 120°C à l'autoclave.

Traitement 2 : grains de mil : conformément aux grains de sorgho

Traitement 3 : riz paddy : conformément aux grains de sorgho avec une quantité d'eau distillée de 120mL

Traitement 4 : grains de maïs : les grains sont répartis dans des bocaux à raison de 100g en additionnant 1 g de calcaire pour 100ml d'eau distillée

Traitement 5 : marc de café : les grains sont répartis dans des bocaux à raison de 100g en additionnant 1 g de calcaire pour 160ml d'eau distillée.

Traitement 6 : marc de thé : les grains sont répartis dans des bocaux à raison de 100g en additionnant 1 g de calcaire pour 160ml d'eau distillée.

2.6. Inoculation et incubation

Selon [15], la production des blanc- mères sur des grains de céréales (sorgho, maïs, mil) apparaît comme la technique la plus simple et mieux adaptée aux conditions locales. Cinq pastilles de 1mm des différentes souches ont été ajoutés aux grains de 100 g et vigoureusement retournées dans le bocal à l'aide d'une spatule. Les bocaux ainsi inoculés sont mis en incubation à 20°C ±2 sous photopériode 0h selon la méthode décrite par [16].

2.7. Préparation du substrat de production

Les substrats ont été choisis en fonction de leur disponibilité et de leur capacité de rétention d'eau pour la production des carpophores des champignons sauvages comestibles. Le dispositif utilisé est Fisher en six traitement ont été testé en trois répétition pour la production des carpophores.

Les différents substrats ont été préparés de la façon suivante :

Traitement 1 : rafle de maïs : 600g ont été pesés puis concassés, ensuite j'ai ajouté 12g de calcaire, 6 ml de mélasse, 1,2g d'urée et 500 ml d'eau.

Traitement 2 : sciure de bois (*Delonix regia*) : 600g+ 800 ml d'eau et 12 g de calcaire et 1,2g d'urée et 6 ml de mélasse.

Traitement 3 : paille de riz: 600g ont été découpé en morceaux de 1-3cm +12g de calcaire, 6 ml de mélasse, 1,2g d'urée et 1700 ml d'eau.

Traitement 4 : terre de parc (fumier de ferme) : 600g + 12 g de calcaire + 6 ml de mélasse + 1,2g d'urée + 400 ml d'eau.

Traitement 5 : marc de café : les grains sont répartis dans des sachets à raison de 600g en additionnant 12 g de calcaire, 600 ml d'eau, 6 ml de mélasse, 1,2g d'urée.

Traitement 6 : marc de thé : les grains sont répartis dans des sachets à raison de 600g en additionnant 12 g de calcaire, 600 ml d'eau, 12g de calcaire, 6 ml de mélasse et 1,2g d'urée.

2.8. Lardage du substrat de fructification

Le lardage des substrats a été fait dans une salle propre à raison de 6g de blanc de semis pour 200g de substrat selon la méthode [17]. Les sachets sont ensuite fermés à l'aide de bouchons en mousse (coton) placée au niveau de l'encolure de sacs attachés avec du caoutchouc élastique puis peser à l'aide d'une balance sensible.

2.9. Incubation des cultures

L'incubation a lieu dans des armoires à l'obscurité totale ($\pm 25^{\circ}\text{C}$). L'uniformisation des conditions d'incubation est assurée par un déplacement aléatoire des ballots à l'intérieur de l'armoire, une à deux fois par semaine. L'incubation a été suivie jusqu'à l'envahissement total du substrat de production par le mycélium pendant quatre semaines.

2.10. Induction de la fructification par gobetage

Les ballots présentant des mycéliums ont été déplacés dans leur milieu de culture de fructification (champignonnière) pendant huit semaines, d'où nous avons utilisé des bacs remplis de terreau dans lesquelles nous avons tranché des poquets selon la taille des ballots puis enlever le sachet sur les substrats colonisés en les enfouissant en position debout dans chaque poquet puis leurs couvrir avec une fine couche de terre tout en maintenant les conditions de fructification suivante : une lumière, une humidité proche de la saturation, des températures $25^{\circ}\text{C} \pm 2$ et une bonne circulation de l'air. Le suivi de l'humidité relative et de la température a été réalisé à l'aide d'un hygro-thermomètre de salle selon la méthode [18].

2.11. Analyse des résultats

Les données collectées sur 6 variables retenues ont été saisies, vérifiées avec un tableur Excel version 2016. Le même logiciel Excel a servi aussi d'établir les histogrammes.

Les résultats obtenus sont soumis à une analyse statistique de la variance à un seul facteur de classification, cette analyse nous permet de comparer le comportement des souches sur les différents substrats testés. Lorsque cette analyse montre une différence significative, elle est complétée par le test de Student- Newman-Keuls (NK) au seuil de 5%. Le test SNK permet de constituer des groupes homogènes de traitement par comparaison de moyennes. Ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel Genstat (Release 12.1)

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Résultats

3.1.1. Croissance radiale

La figure 1 illustre les résultats de l'étude de la croissance radiale des différentes souches sur milieu PDA. L'analyse de la variance a montré une différence hautement significative entre les différentes souches pour la croissance radiale et significative par rapport au temps d'incubation sur le milieu PDA (Tableau 4).

Les souches locales KD00, JD1478 et PG ont obtenu la plus forte croissance radiale 4,1cm suivi 3,4cm et 2,5cm en 2 ; 3 et 7,7 jours après incubation respectivement tandis que le temps pour la souche commerciale PO a enregistré une croissance de 1,6cm en / 15jours. Quant à la souche locale JD1460, elle a enregistré la plus faible croissance radiale 1,3cm en 19 jours d'incubation.

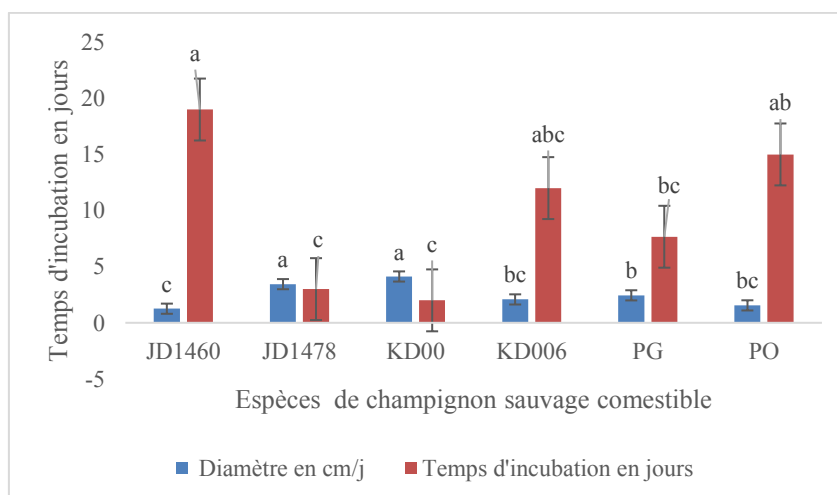


Figure 1 : Moyenne de la Croissance radiale des souches de champignons comestibles sur milieu PDA. Les barres verticales représentent les écarts types et les lettres représentent la classification anova.

Tableau 4 : Variables de la croissance radiale des souches de champignons comestibles sur le milieu PDA.

Source	ddl	s.s	m.s	v.r	Fpr	CV
Croissance	5	18,4593	3,6919	15,41	<.001	19,70

radiale						
Temps d'incubation	5	684,44	136,89	6,71	0,003	46,18

ddl : degré de liberté, s.s : somme des carrées, m.s : écart type, v.r : taux des variations, Fpr : F des probabilités, CV :coefficient de variation

Vitesse moyenne de croissance radiale

L'analyse de la variance a montré une vitesse de progression radiale et une différence hautement significative en fonction des différentes souches sur le milieu PDA. Ceci est consigné dans le tableau 5.

Les résultats sur la vitesse moyenne de croissance sont illustrés sur la figure 2. La souche JD1478 a

obtenu la meilleure vitesse de croissance avec 0,89cm/j suivi par les souches KD00, KD006 et PG avec 0,29cm/j, 0,36cm/j et 0,27cm/j respectivement. Quant aux souches JD1460 et PO (Témoin commerciale), elles ont enregistré la plus faible vitesse avec respectivement 0,05cm/j et 0,07cm/j.

Tableau 5 : Analyse des variances de la vitesse moyenne de croissance.

Source	ddl	s.s	m.s	v.r	Fpr	CV
Vitesse de croissance radiale	5	1,383178	0,276636	44,14	<.001	24,7

ddl : degré de liberté, s.s : somme des carrées, m.s : écart type, v.r : taux des variations, Fpr : F des probabilités, CV :coefficient de variation

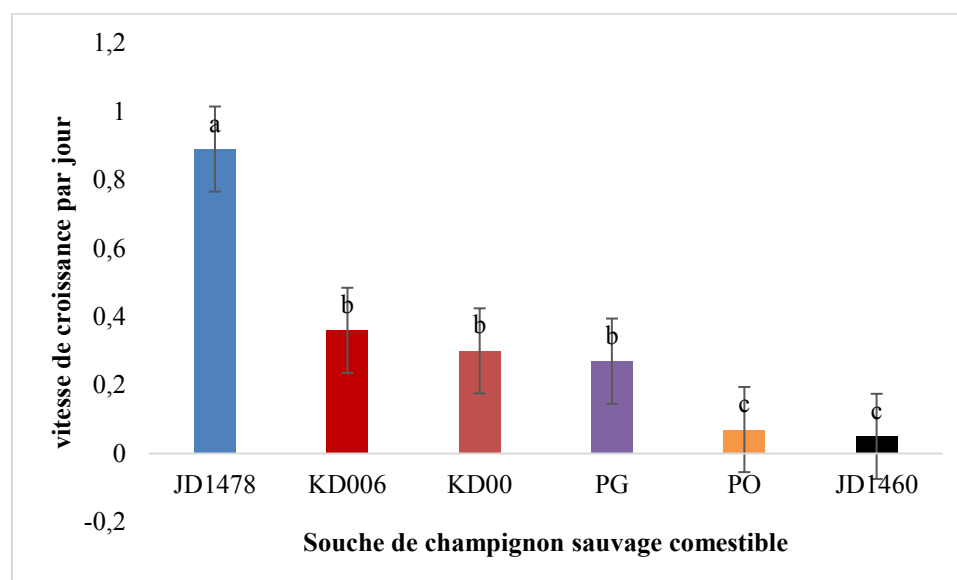


Figure 2: Vitesse moyenne de croissance radiale des souches de champignons comestibles sur milieu PDA. Les barres verticales représentent les écart-types et les lettres représentent la classification anova.

Quant au délai temps de mise en incubation à 100% colonisation des substrats végétaux, l'analyse de la variance a montré une différence hautement significative entre les différentes espèces en fonction des substrats végétaux avec 10 groupes statistiques (tableau 6). Toujours, la souche JD1460 (Traitement E1) sur le marc de café, mil et sorgho n'a donné aucune colonisation et ceci après 30 jours

d'incubation. Quant à la souche JD1478 (Traitement E2) a poursuivi son meilleur rythme de colonisation sur le mil, riz paddy, sorgho avec un temps d'incubation court de 4j et la souche JD1460 (Traitement E1) sur le maïs et PG (Traitement E5) sur le maïs ont donné du blanc-mère avec un temps d'incubation plus long de 30j.

Tableau 6 : Analyse de variance de la colonisation délai 100% des mycéliums sur les substrats végétaux par Comparaison des moyennes, par le test de Student-Newman-Keuls au seuil de 5%

Codification	Temps de colonisation
JD1460 sur le substrat marc de café	0a

JD1460 sur le substrat mil	0a
JD1460 sur le substrat sorgho	0a
JD1478 sur le substrat mil	4ab
JD1478 sur le substrat riz paddy	4ab
JD1478 sur le substrat sorgho	4ab
JD1478 sur le substrat marc de thé	6ab
JD1478 sur le substrat maïs	7abc
KD00 sur le substrat marc de thé	7abcd
KD006 sur le substrat mil	7abcd
PO sur le substrat sorgho	8,33abcde
JD1478 sur le substrat marc de café	8,67abcde
PG sur le substrat marc de thé	9,33abcde
PG sur le substrat riz paddy	9,67abcde
KD006 sur le substrat maïs	10,00abcde
KD006 sur le substrat sorgho	10,00abcde
PG sur le substrat sorgho	10,33abcde
KD006 sur le substrat riz paddy	12,00abcde
PO sur le substrat marc de café	12,00abcde
PO sur le substrat marc de thé	12,00abcde
KD006 sur le substrat marc de thé	14,33abcdef
KD00 sur le substrat marc de café	14,67abcdef
PG sur le substrat mil	15,33abcdef
PO sur le substrat riz paddy	15,33abcdef
JD1460 sur le substrat marc de thé	17,33abcdef
JD1460 sur le substrat riz paddy	18,67bcdef
KD00 sur le substrat mil	19,33bcdef
KD00 sur le substrat sorgho	19,33bcdef
PG sur le substrat marc de café	19,33bcdef
KD00 sur le substrat maïs	19,67bcdef
KD00 sur le substrat riz paddy	19,67bcdef
PO sur le substrat mil	22,00bcdef
PO sur le substrat maïs	25,33cef
KD006 sur le substrat marc de café	26,00ef
JD1460 sur le substrat maïs	30,00f
PG sur le substrat maïs	30,00f

Tableau 7 : Analyse de variance de la production de blanc mère 100% par les différents substrats végétaux

Source	ddl	s.s	m.s	v.r	Fpr	CV
Souche	35	6767,66	193,36	5,58	<.001	45,3

ddl : degré de liberté, s.s : somme des carrées, m.s : écart type, v.r : taux des variations, Fpr : F des probabilités, CV : coefficient de variation

Pour le rendement de la production des carpophores l'analyse de la variance a montré une différence hautement significative entre les souches sur les substrats végétaux et animaux et on a obtenu 7 groupes statistiques (Tableau 8).

La souche *Pleurotus populinus* présente un rendement en carpophore plus élevé sur la paille de riz E5PR (82g/0,2kg) avec un temps de production moyen de 17 jours que sur la sciure de bois E5SB (34g/0,2kg) avec un temps de production long de 39 jours que sur les rafles de maïs (E5RE,24g/0,2kg) avec une durée de production très longue 22 jours. Le rendement de *Pleurotus oestreatus* sur la paille est meilleur E6PR (33g/0,2kg) avec une durée de production moyenne 8 jours que sur les rafles de

maïs E6RE (33g/0,2kg) avec une durée de production court 8 jours.

Pour *Lentinus squarrosulus*, le rendement en carpophores est plus important sur la sciure de bois E2SB (15g/0,2kg) que sur la paille de riz E2PR (3g/0,2kg) et les rafles de maïs E2RE (3g/0,2kg) avec une durée de production très longue 50 jours concernant la même pour les différents substrats végétaux et animaux. Quant à l'espèce *Pleurotus cystidiosus*, le rendement en carpophores est plus élevé sur les rafles de maïs E4RE (14g/0,2kg) avec une durée de production très longue de 39 jours. Par contre la souche locale *Lentinus squarrosulus* (KD00) n'a pas fructifié sur les différents substrats végétaux et animaux.

Tableau 8 : Rendement de la production des carpophores de champignons comestibles en fonction des différents substrats végétaux et animaux.

Codification	Temps de colonisation
PG sur le substrat riz paddy	81.833 a
PG sur la sciure de bois	33.913b
PO sur la paille de riz	33.333 bc
PO sur le rafle de maïs	33.333 bcd
PG sur le rafle de maïs	24.277 bcde
JD1478 sur la sciure de bois	14.667 bcde
KD006 sur le rafle de maïs	14.337 bcde
JD1478 sur la paille de riz	3.110 e
JD1478 sur le rafle de maïs	3.110 e
JD1460 sur le marc de café	0e
JD1460 sur le marc de thé	0e
JD1460 sur la paille de riz	0e
JD1460 sur le rafle de maïs	0e
JD1460 sur la sciure de bois	0e
JD1460 sur la terre parc de ferme	0e
JD1478 sur le marc de café	0e
JD1478 sur le marc de thé	0e
JD1478 sur la terre parc de ferme	0e
KD00 sur le marc de café	0e
KD00 sur le marc de thé	0bcde
KD00 sur la paille de riz	0bcde
KD00 sur le rafle de maïs	0bcde
KD00 sur la sciure de bois	0bcde
KD00 sur la terre parc de ferme	0bcde
KD006 sur le marc de café	0bcde
KD006 sur le marc de thé	0bcde
KD006 sur la paille de riz	0bcde
KD006 sur la sciure de bois	0bcde
KD006 sur la parc de ferme	0bcde
PG sur le marc de café	0bcde
PG sur le marc de thé	0bcde
PG sur la terre parc de ferme	0bcde
PO sur le marc de café	0bcde
PO sur le marc de thé	0bcde
PO sur la sciure de bois	0bcde
PO sur la terre parc de ferme	0bcde

Tableau 9: Analyse de variance de la production des carpophores

Source	Ddl	s.s	m.s	v.r	Fpr	CV
Rendement des carpophores	35	28354,5	810,1	6,19	<.001	162,2
Durée de production des carpophores	35	23966,10	684.75	20.74	<.001	10.9

ddl : degré de liberté, s.s : somme des carrées, m.s : écart type, v.r : taux des variations, Fpr : F des probabilités, CV :coefficient de variation

3.2 Discussion

Les résultats des souches locales KD00 et JD1478 qui ont obtenu une plus forte croissance radiale sur PDA sont similaires à ceux de [19] sur la croissance radiale de *Pleurotus citrinopileatus* et *d'Agaricus biosporus* sur le milieu PDA.

Les souches de *Lentinus* (JD1478 et KD00) et de *Pleurotus* (KD006 et PG) ont enregistré une vitesse de croissance radiale les plus élevées avec un temps plus court. Ceci est confirmées par les travaux de [20] et [21].

En effet, [22] indique que la température et l'humidité constituent des facteurs déterminants dans la production de mycélium de bonne qualité. Par conséquent, une bonne température garantirait un taux de réussite de semences [23].

Les résultats montrent que les meilleurs substrats obtenus à 100% avec un temps de colonisation court sont proches des résultats obtenus par [24], qui ont démontré une croissance mycélienne élevée dans le substrat de sorgho par rapport aux autres céréales (seigle, riz, le blé, et le maïs) de l'*Agaricus bisporus* cité par [25] et similaire au résultat de [26] a montré une colonisation de *Pleurotus florida* sur le substrat sorgho au bout de 4j et proche des résultats de [27] a montré un temps d'incubation court de la souche (9994) sur le substrat à base de riz paddy.

L'analyse du rendement montre une variabilité en fonction du substrat. Ainsi la paille de riz est favorable à une bonne production de *Pleurotus populinus* et *Pleurotus oestreatus* ce résultat est similaire aux travaux de [23] qui ont montré que la paille de riz offre respectivement un bon rendement en carpophores de *Pleurotus oestreatus* de même que les travaux [28] pour le rendement élevé de *Pleurotus oestreatus* sur la paille de riz.

IV. CONCLUSION

La collection des champignons sauvages comestibles lignicoles saprophytes du Mali est riche d'une vingtaine d'espèces issues des forêts soudano sahéliennes du pays. L'objectif principal de cette étude est une évaluation agronomique de quelques espèces sauvages de champignon comestibles.

De façon spécifique, il s'agit de vérifier la capacité de croissance des souches sur milieu gélosé, leur production de blanc-mères et de carpophores sur grains de céréales et substrats végétaux respectivement. Les hypothèses ont été confirmées quant à la multiplication des différentes souches sur le milieu PDA et production des blanc-mère et carpophores sur les différents substrats végétaux et animaux.

Les résultats que nous avons obtenus sont encourageants car ils démontrent que la culture de souches locales de champignons comestibles est possible au Mali où les substrats de production sont diversifiés et disponibles en suffisance.

La souche *Pleurotus populinus* a donné des résultats encourageants et satisfaisants du point de vue économique et écologique présente un rendement en carpophore plus élevé sur la paille de riz E5PR (82g/0,2kg) avec un temps de production moyen 17 jours suivi de *Pleurotus oestreatus* sur la paille est meilleur E6PR (33g/0,2kg) avec une durée de production moyenne 8 jours.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé grâce à l'appui multiforme et constant du CRRA de Sotuba à travers le staff du Dr Karim DAGNO, particulièrement Seguerema OUOLOGUEME.

REFERENCES

- [1] S.T. Chang and PG Miles. *Mushrooms: Cultivation, Nutritional Value, Medicinal Effect, and Environmental Impact*, CRC Press, Boca Raton, Fla, USA, 2e édition, 2008.
- [2] PG. Ergönül, I. Akata, F. Kalyoncu and B. Ergönül. «Compositions d'acides gras de six espèces de champignons sauvages comestibles», *The Scientific World Journal*, vol. 2013, numéro d'article 163964, 4 pages, 2013, Voir sur: Site de l'éditeur | Google Scholar.
- [3] G. L. Hennebert and L. Simon. *Etude de substrats artificiels pour la culture de champignons comestibles orientaux et tropicaux*. Rapports provisoire 1985-1986 laboratoire de Mycologie systématique et appliquée, Fac. Sc. Agro. UCL, 35-93. 1989.
- [4] Pedneault. *Étude de composés extractibles chez les champignons indigènes du québec*. Thèse de Doctorat, Département de Phytologie Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation Université Laval Québec (Canada), 2007, 216 p.
- [5] S. N. Yorou, A. N. Kone, A. De Kesel, M. L. Guissou, M. R. Ekue. Biodiversity and sustainable use of Wild Edible Fungi in the Soudanian Centre of Endemism: a plea for their valorisation. In Bâ et al. (ed), *mycorrhiza Symbiosis in the tropics* (in press). 2013.
- [6] I. C. F. R. Ferreira, P. Baptista, M. Vilas-Boas, L. Barros. Free-radical scavenging capacity and reducing power of wild edible mushrooms from Northeast Portugal: Individual cap and stipe activity. *Food Chemistry*, 100: 1511-1516 pp. 2007.
- [7] K. Tiécoura, Bi. S. Gonedele, B. D. Assi, O. N'nan-alla, A. Kouassi, A. S. P. Nguetta. *Le palmier mort, Elaeis guineensis Jacq., support de production de champignons : étude de quelques paramètres de production de Volvariella volvacea*. *Journal of Animal & Plant Sciences*. 2016, 27: 4260-4271 pp.
- [8] K. Dagno. Consolidation du schéma d'agrégation des agriculteurs familiaux conformément aux règles de l'OHADA. Cas des régions soudano-sahéliennes du Mali. Rapport de stage. Université de Liège, Belgique. 68p.2016.
- [9] D.M. Earnshaw, B. Dlamini, and M.T. Masarirambi. Growth and yield of Oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) grown on different substrates

ammended with varying levels of wheat bran. *International Journal of Life Sciences*. 1(4): 111-117.2012.

[10] J. Degreef, K. Dagno, M. Kanté. O. Diarra. *Chlorophyllum palaeotropicum* in champignon comestibles d'Afrique Tropicale. Disponible sur worldwide: <https://www.efta-online.org/esp%C3%A8ces-species/Pleurotus-cystidiosus/>.2017.

[11] Instat. *Annuaire Statistique du Mali*. INSTAT-MPP, Bamako, Mali, 2012, 137p.

[12] Simon. *Essais de culture de quelques champignons lignicoles comestibles de la région de Kinshasa (R.D. Congo) sur divers substrats lignocellulosiques*, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 14(3), 417-422.2010.

[13] S. M. Dibaluka, F. L. Lukoki, A. De Kesel and J. Degreef. *Essais de culture de quelques champignons lignicoles comestibles de la région de Kinshasa (R. D. Congo) sur divers substrats lignocellulosiques*. *Biotechnol Agron. Soc. Environ.* 14(3), 417 -422.2010.

[14] C.M. Israel. *Utilization of palmetto residue to produce hydrolytic enzymes by Polyporus fungi (Utilização do resíduo do processamento do palmito para a produção de enzimas hidrolíticas por fungos do gênero Polyporus)*. Master degree project (Dissertação-Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro de Ciências Tecnológicas/Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2005, 136p.

[15] P. Oei. *La culture des champignons*. Guide technique, Amsterdam, Pays-Bas, CTA, TOOL, FGRET, 318p.1993.

[16] Y.S. Djomene. *Techniques de multiplication du blanc de trois espèces de champignons comestibles du genre pleurotus au Cameroun (Cas de la CoopSDEM COOP-CA)*. 2018.

[17] I. D. Makaanua, S. D. Mpulusu, J. L. Kasali, J. Degreef. *Culture de trois espèces fongiques sauvages comestibles du Groupement de Kisantu (R.D. Congo) sur des substrats ligno-cellulosiques compostés*. *Afrique SCIENCE* 11(3) 241 - 261 241 ISSN 1813-548X.2015.

[18] M.S. Dibaluka. *Inventaire des macromycètes de la forêt du Lac de Ma Vallée (Kinshasa) et essai de mise en culture de quelques espèces comestibles*. Mémoire inédit: Faculté des Sciences, Université de Kinshasa (RD Congo), 200p.2005.

[19] B. Chaffai B and M. Ouchene.2019. Essai de culture et multiplication de champignon de Paris (*Agaricus bisporus*) et de pleurote jaune (*Pleurotus*

citrinopileatus) à l'échelle de laboratoire. Mémoire de master. Faculté Des Sciences Exactes et Des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Larbi Ben Mhidi Oum El Bouaghi, 2019, 29p.

[20] K. Dagno, A. Dicko, L. Kansaye and M. Diourté. Contribution à la lutte contre l'insécurité alimentaire par la valorisation des champignons sauvages comestibles des zones soudano-sahéliennes du Mali. 20^{èmes} Journées Scientifiques Annuelles de la S.O.A. CHIM 06-09 août 2019, Bamako – Mali.

[21] S.M. Dibaluka, F.L. Lukoki, A. De Kesel and J. Degreef. 2010. *Essais de culture de quelques champignons lignicoles comestibles de la région de Kinshasa (R. D. Congo) sur divers substrats lignocellulosiques*. *Biotechnol Agron. Soc. Environ.* 14(3), 417 -422.2010.

[22] M. Benamar-Mansour. *Valorisation de résidus agricoles par la culture de deux souches de champignons comestible du genre Pleurotus*. Thèse de Doctorat, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou, Faculté des sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques Département de Biologie, Algérie, 257 p.2016.

[23] B.M.S. Pitta, G.C. Yian, A.B.J.P.E Adjessi, M.S. Tiébré. “ Développement De La Culture Des Champignons Sauvages Comestibles en Côte d'Ivoire : Production Des Semences Et Tests De Croissance Des Carpophores Sur Quatre Substrats Organiques.” *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS)*, 13(3), 2020 pp. 08-14.

[24] K. KERFEZ and O. BRIK. *Culture et clonage d'un tissu de champignon de (Agaricus bisporus) de paris*.2015.

[25] K. Dagno, M. Traoré and M. Kanté. Tests de croissance radiale et production de blanc-mère de quelques champignons sauvages comestibles du Mali. Première Journée Scientifique Du Der De Biologie – Fst/ Usttb, Bamako Mali, 6p.2020.

[26] P.R. Kachulire. *Essai de production et de multiplication du mycélium de Pleurotus Florida à partir des spores sur différents milieux de culture à base des ingrédients locaux*. ISSN 2028-9324 Vol. 19 No. 3, pp. 576-586.2017.

[27] Y.MwinyiWaziri. *ESSAI DE DOMESTICATION D'UNE ESPECE FONGIQUE COMESTIBLE, Schizophyllum commune Fr. (Tshopo, R.D. Congo) À KISANGANI*. Mémoire de stage. Université de Kisangani Faculté des Sciences BP.2012.47p.2015

[28] P. Kiyuku and S. Bigawa. *Production de Pennisetumsp et son utilisation pour la culture de*

Pleurotus ostreatus au Burundi. VertigO .la revue électronique en sciences de l'environnement. DOI : 10.4000/vertigo.13948.2013.

Identification des ravageurs et maladies affectant les fruits de jujubier (*Ziziphus mauritiana* (L.) et tamarinier (*Tamarindus indica* (L.) à Samanko au Mali

Karim Dagno¹, Bama Sékou Dao^{1,3}, Moussa Kanté², Youssouf Faya Keita³, Cathérine Ky-Dembelé⁴

¹IER, Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba, Bamako, Mali

²Université de Ségou, FAMA, Ségou, Mali

³USTTB, FST, Bamako, Mali

⁴ICRAF-World Agroforestry Centre, Bamako, Mali

*Courriel de l'auteur de correspondance: karimdagno@yahoo.fr

RÉSUMÉ: Face à une demande de plus en plus croissante en denrées alimentaires, des initiatives sont développées par les populations pour combler les déficits en besoins alimentaires et améliorer leurs revenus financiers par l'exploitation et la commercialisation des produits forestiers ligneux dont les fruits. Dans ces contextes, la mise à disposition des plants sains devient une nécessité ainsi, la présente étude a porté sur la détection des insectes et agents pathogènes qui affectent les fruits de *Ziziphus mauritiana* (L.) et *Tamarindus indica* (L.) de l'unité des ressources génétiques du Centre international pour la recherche en agroforesterie (ICRAF) basé à Samanko, Mali. La collecte des échantillons s'est déroulée pendant 2 campagnes hivernales d'août à décembre. Ainsi, 5 fruits avec attaque des insectes, 5 fruits malades et 5 fruits sans symptômes ont été récoltés. Les fruits piqués ont été mis en incubation dans les pots avec du sable légèrement humidifié pour l'élevage des larves. La partie portant le front d'avancement des symptômes pour les fruits malades ont été désinfectées à l'hypochlorite de sodium avant d'être mis sur milieu PDA (Potato Dextrose Agar). Les clés d'identification ont été utilisées pour déterminer les insectes et agents pathogènes émergés. Les résultats obtenus ont montré la présence de 70 ravageurs chez le *Ziziphus* répartis en 3 ordres avec 5 espèces dont le plus dominant a été *Carpomya incompleta* (61,53%) tandis que 26 ravageurs ont été observés chez *Tamarindus* regroupés en 2 ordres avec 2 espèces dont *Helicoverpa armigera* comme plus dominant avec 69,23%. Peu d'agents pathogènes majeurs ont été observés chez les 2 espèces de plante. Cette étude a permis de comprendre le problème majeur des vergers de jujubier et tamarinier. Elle permettra de mettre en place dans les zones de production un programme gestion efficace des ravageurs pour garantir le revenu des exploitations familiales au Mali.

Mots-clés: Jujubier, tamarinier, bioagresseurs, fruits, Mali.

1. INTRODUCTION

Depuis les années 1974, les sécheresses récurrentes ont plongé certains pays africains surtout sahéliens dans une incertitude de campagnes agricoles. Or, l'alimentation des ménages dans cette région est essentiellement basée sur les produits agricoles (mil, maïs, sorgho, haricot) et les produits forestiers non ligneux (Fruits et légumes) collectées dans les champs et autres formations naturelles boisées [1].

Le jujubier (*Ziziphus mauritiana* L.) est une espèce fruitière forestière locale au Sahel. Il est rencontré à l'état sauvage dans la zone soudano-sahélienne du Burkina Faso, Cameroun, Gambie, Guinée, Mali, Niger et du Sénégal. L'espèce est également présente en Asie du Sud tropicale (Inde, Pakistan, Bangladesh, Sri Lanka) [2].

Parmi les maladies les plus répandues et qui occasionnent des dégâts économiques on note la cercosporiose (*Creosota jujuba*), Oïdium (du genre *Oïliopsis*) [3].

Le tamarinier (*Tamarindus indica* L.) est originaire des régions tropicales sèches d'Afrique de l'Est où il pousse à l'état sauvage. [4] a rapporté que l'arbre a été répandue par les arabes en Inde.

Ce constat est encore fait sur les fruits des accessions du jujubier et du tamarinier dans la pépinière des banques de gène de l'ICRAF-Samanko au Mali. C'est dans ce contexte donc que s'inscrit le présent travail. De nombreuses études menées sur ces variétés en Asie et en Inde ont porté sur les caractères végétatifs, la biologie de la reproduction, les caractéristiques physicochimiques des fruits l'amélioration génétique [5]. En Afrique, quelques études ont été faites sur la sylviculture en pépinière les caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques en comparaison avec la variété locale et sur la morphologie florale [6] et sur l'effet de la fertilisation sur la production de fruits [7].

Toutefois ces études encore sommaires ne permettent pas de connaître fondamentalement l'écologie de ces variétés dans le contexte du Sahel. On note également que peu d'informations sur

l'entomofaune et maladies de ces variétés qui pourtant, peut être le premier facteur responsable de la dépréciation des fruits commercialisés au Mali. En effet, [8] a rapporté que la floraison est le siège d'une forte interaction entre les insectes et les maladies.

La présente étude s'est déroulée pendant 2 campagnes hivernales d'août à décembre. L'objectif a été la réalisation d'un inventaire des insectes et les agents pathogènes affectant les fruits de deux arbres (*Z. mauritiana* et *T. indica*) dans les collections de l'ICRAF- Samanko, Mali.

II. MATERIEL ET METHODES

2.1. Matériel biologique

Il est constitué par soixante-six (66) accessions de jujubier (*Ziziphus mauritiana*), et quarante (40) accessions de tamarinier (*Tamarindus indica*). Ils proviennent de la pépinière des banques de gènes de l'ICRAF- Samanko au Mali.

2.2. Matériel de collecte

Le matériel utilisé sur le terrain comprend : blocs notes, crayon; sachets plastiques, appareil photo numérique, étiquettes et glacière.

2.3. Matériel de laboratoire

Au laboratoire, plusieurs matériels et outils ont été utilisés. Ils comprennent : milieu de culture PDA (Potato Dextrose Agar), eau distillée, tube Erlen Meyer, boîtes de Pétri, loupes binoculaires de poche et de table, alcool, une balance à précision, incubateur, microscope optique, lames et lamelles, pots d'élevage, sable fin, tissu voile et bracelets élastiques.

2.4. Echantillonnage des fruits

Les fruits ont été collectés sur trois arbres par espèce choisis de façon aléatoire. Sur chaque arbre les collections ont été faites de la manière suivante :

- 5 fruits présentant des signes distinctifs externes d'attaque d'insectes et / ou d'infection d'agent pathogène, et 5 fruits sans symptômes.
- Les fruits avec les mêmes symptômes (c'est-à-dire les dommages causés par les insectes, l'infection par un agent pathogène, et les fruits sans symptômes) ont été mis ensemble dans des sacs étiquetés donnant ainsi 3 sacs par arbre.
- Les étiquettes des sacs comprennent la date, l'emplacement, le cultivar (ou l'accession) et le nom du collecteur.
- Les arbres échantillonnés ont été marqués tandis que les fruits collectés ont placés dans des sacs en tissu de coton ont été disposés dans une glacière et transportés au laboratoire, puis conservés au réfrigérateur à 4°C jusqu'à ce qu'ils soient traités.

2.5. Diagnostique des ravageurs et maladies

Au laboratoire, les échantillons de fruits prélevés sur les arbres sont soumis au processus de diagnostic suivant :

- Les fruits sont minutieusement inspectés et décrits avant de prendre des photos des symptômes externes ;
- Ensuite, les fruits inspectés avec ou sans symptômes sont disséqués et les dommages internes sont bien décrits avec prise des images internes.

Les supports techniques qui ont aidé à l'identification des différents bioagresseurs sont les suivants entre autres:

- Clés d'identification des insectes décrites par [9] et [10].
- Clés d'identification des champignons décrites par [11] et [12].

Sites Web spécialisés en diagnostique et identification des bioagresseurs.

- Lors de la dissection, les larves présentes sont prélevées, leur morphologie est décrite avec une prise de photo.
- Les larves extraites des fruits disséqués sont placées dans des flacons étiquetés remplis d'éthanol dilué à 70% pour éviter la décomposition.
- Les insectes émergés sont décrits puis conservés dans des flacons étiquetés contenant de l'éthanol dilué à 70%.

2.6. Mise en élevage des fruits avec attaque d'insectes

Les fruits sont déposés individuellement dans des pots d'élevage contenant du sable fin légèrement humidifié, puis fermés par un tissu voile maintenu par un bracelet élastique. Le sable est régulièrement humidifié et observé pour récupérer les insectes émergés et placés dans la solution de conservation.

2.7. Préparation du milieu de culture

Le milieu de culture, Potato Dextrose Agar (PDA, Merck, Darmstadt, Germany) a été utilisé lors de cette étude diagnostique. En effet, c'est un milieu favorable à la croissance des microorganismes en générale et celle fongique en particulier [13]. La dose de préparation est conforme à celle du fabricant (39g/l). La préparation a été faite suivant le protocole commun en vigueur au laboratoire de phytopathologie de Sotuba [14].

2.8. Isolement des champignons

Des parties de tissus nécrosés sur les fruits portant le front d'avancement des symptômes pour les fruits symptomatiques, et des parties des fruits

asymptomatiques sont découpées et trempées pendant 15 mn dans l'hypo chlorure à 25%;

Elles sont ensuite rincées à l'eau distillée stérilisée;

Les boîtes ensemencées sont paraffinées et mises en incubation dans l'incubateur à la température $25 \pm 2^\circ\text{C}$ pour que l'agent pathogène émerge sur le milieu PDA.

2.9. Identification des champignons

Les colonies et les fructifications des champignons obtenus après incubation des boîtes sont prélevées à l'aide d'une aiguille puis montées entre lame et lamelle pour les observations au microscope optique ; l'identification est faite en se basant sur des caractéristiques des champignons phytopathogènes et en faisant recours à des dessins.

2.10. Identification des insectes

Les insectes sont identifiés en les observant avec la loupe binoculaire et en faisant recours aux clés d'identification des insectes. Et ceux dont on n'a pas pu identifier sont maintenus dans l'alcool jusqu'à ce qu'on puisse les identifier.

2.11. Analyse des données

Toutes les données d'identification ont été saisies à l'aide du programme Excel. Le calcul des moyennes et des écarts types qui ont servi à construire les différents histogrammes, a été fait à l'aide du logiciel « R » version 2015 tandis que ces histogrammes ont été faits à l'aide du programme Excel. Les résultats sont soumis à une analyse de variance (ANOVA) en utilisant le logiciel Système d'Analyse Statistique (SAS) version 20, suivie d'une séparation par le test de Tukey au seuil de 5%.

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Résultats

La figure 1 illustre la fréquence des insectes émergés des fruits piqués par les insectes, dont l'espèce la plus fréquemment observée *Carpomya incompleta* avec 61.53%, et la fréquence minimale de 1.28% pour *Caryedon gonagra*. L'évolution des populations d'insectes ayant émergés au cours de la période de production des fruits est illustrée par la figure 2. Elle montre la présence de *C. incompleta* pendant une longue durée de fructification jusque fin novembre tandis que l'*Agrotis* sp. et *C. gonagra* apparaissent de mi-octobre à mi-décembre. Par ailleurs, *Bactrocera bhutaniae* a eu une pic de présence en novembre et celui de *B. nigrifacia* en août ; *Bactrocera* sp. s'étale de mi-août à fin novembre. Les Charançons font leur apparition de fin novembre à mi-décembre.

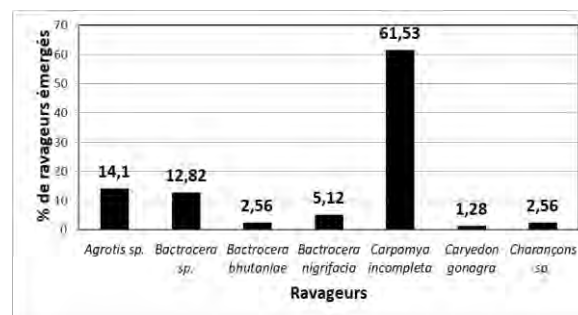


Figure 1: Fréquence des ravageurs émergés des fruits infestés des cultivars de *Ziziphus mauritiana* dans la pépinière de l'ICRAF-Samanko, Mali.

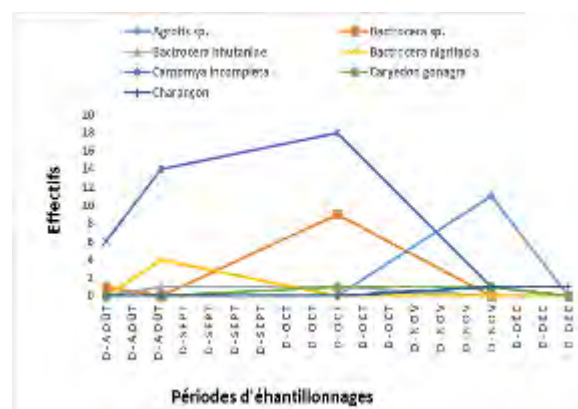


Figure 2: Fluctuation des populations des ravageurs dans la pépinière des cultivars de *Ziziphus mauritiana* dans la pépinière de l'ICRAF-Samanko, Mali.

Chez *Tamarindus indica*, la figure 3 illustre la fréquence des insectes émergés. La forte présence de ces ravageurs dans la pépinière a été observée chez *Helicoverpa armigera* (69,23%) et celle minimum chez *Bactridium* sp. (7,4%).

L'espèce *H. armigera* a été présente pendant toute la période d'étude dans la pépinière de mi-août à mi-novembre. Cette même période correspond également à la période de pullulation de *C. gonagra* et de *Bactridium* sp. chez *T. indica* (Figure 4).

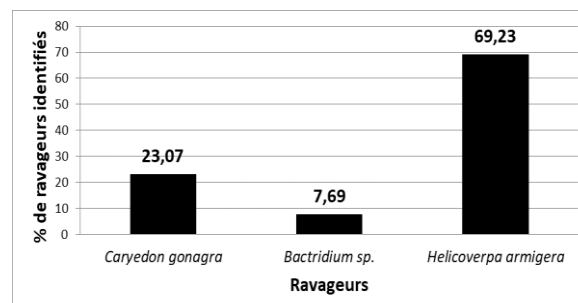


Figure 3: Fréquence des ravageurs identifiés chez les cultivars de *Tamarindus indica* dans la pépinière de l'ICRAF-Samanko, Mali.

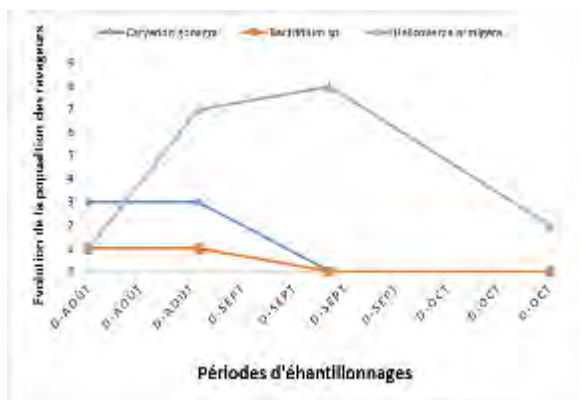


Figure 4: Evolution de la populations au cours de l'année des ravageurs de *Tamarindus indica* dans la pépinière de l'ICRAF-Samanko, Mali.

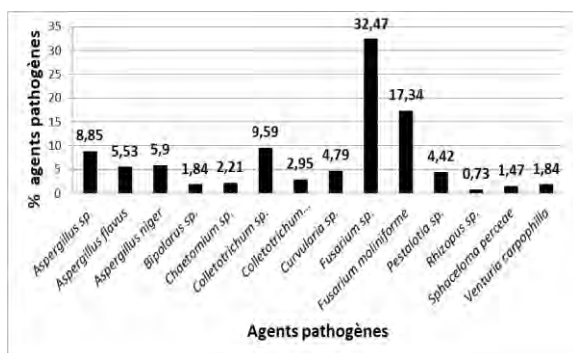


Figure 5: Pourcentage d'agents pathogènes identifiés chez les cultivars de *Ziziphus mauritiana* dans la pépinière de l'ICRAF-Samanko, Mali.

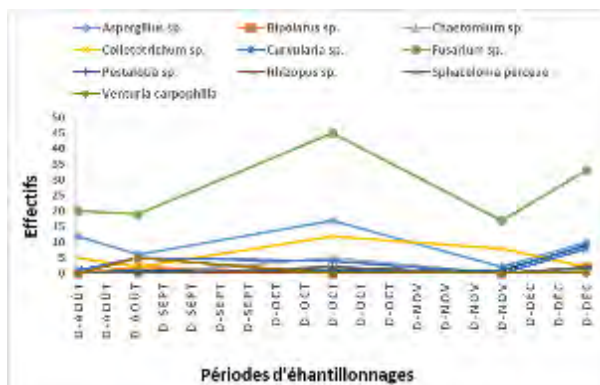


Figure 6: Evolution de la populations au cours de l'année des pathogènes chez les cultivars de *Ziziphus mauritiana* dans la pépinière de l'ICRAF-Samanko, Mali.

Les genres fongiques observés sur les fruits des cultivars de *Tamarindus indica* dont le plus dominant a été *Fusarium sp.* (39,25%) suivi de *Colletotrichum sp.* et *Curvularia sp.* avec 2,96% (Figure 7).

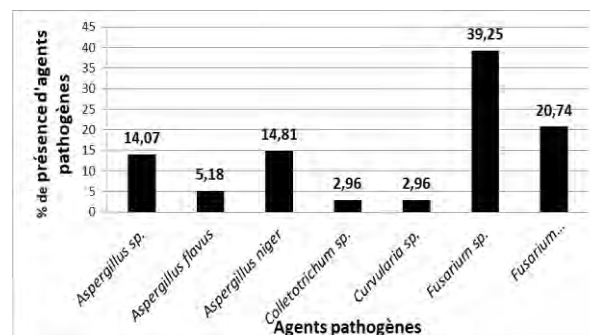


Figure 7: Pourcentage d'agents pathogènes identifiés chez les cultivars de *Tamarindus indica* dans la pépinière de l'ICRAF-Samanko, Mali.

La figure 8 illustre l'évolution des agents pathogènes au cours de l'année dans la pépinière des cultivars de *T. indica*. Les genres *Aspergillus* et *Fusarium* ont été les plus fréquemment observés.

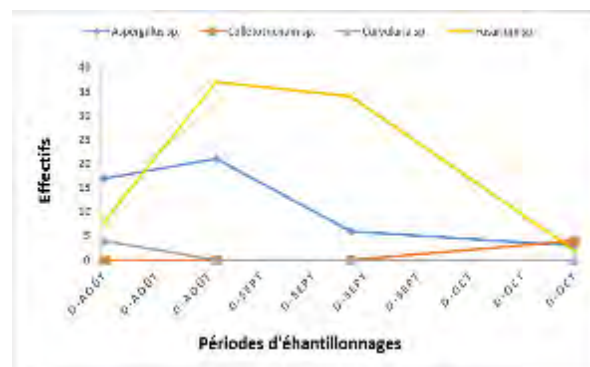


Figure 8: Evolution de la populations au cours de l'année des pathogènes chez les cultivars de *Tamarindus indica* dans la pépinière de l'ICRAF-Samanko, Mali.

Les résultats d'analyse ANOVA ont montré une différence significative entre les moyennes des ravageurs en fonction du taux attaque sur non seulement un même arbre, mais aussi sur les deux. Ce qui explique le principe de monophagie qui se traduit par l'utilisation par un insecte une seule espèce de plante comme hôte. De même l'analyse statistique révèle qu'il y a une différence significative sur les moyennes du niveau d'attaque des agents pathogènes en fonction des deux arbres. Cela peut être expliqué par le développement plus rapide de certains agents pathogènes que d'autres ; ce qui fait que certains sont plus fréquents et d'autres sont rares.

3.2. Discussion

L'inventaire des insectes et des agents pathogènes qui affectent les fruits de *Ziziphus mauritiana* et de *Tamarindus indica* ont été mis en évidence au cours de cette étude à l'ICRAF/ Samako. Parmi eux les mouches des fruits avec *Carpomya incompleta* et les genres *Bactrocera* sont les plus fréquentes. Ces résultats sont similaires à ceux rapportés par [15] puis par [16] au Burkina Faso. [17] ainsi que [18] ont

trouvé les mêmes résultats en Côte d'Ivoire. L'espèce la plus dominante dans la collection de l'ICRAF Samanko a été *C. imcompleta* qui a causé la plupart des dégâts à l'instar de ceux rapporté au Burkina Faso [19]. Nous pensons que cette dominance s'explique par la présence de son hôte *Z. mauritiana* ; les travaux de [15] confirme nos résultats. Ainsi, on pense que cette nouvelle espèce est inféodée au genre *Ziziphus*. De nombreux auteurs l'ont décrite comme une espèce monophage dont l'hôte spécifique est *Z. mauritiana* [20].

L'espèce *H. armigera*, espèce dominante sur les cultivars de *T. indica* au Mali n'avait pas été jusqu'à présent rapporté sur cette culture à travers le monde. [21] rapportent que les ravageurs qui causent plus de dégâts sur le Tamarinier sont les dendroctones du bruche dentelé ; donc sa forte présence par rapport aux bruches s'explique par le fait que les nouveaux ravageurs sont plus compétitifs que les premiers ce qui oblige ceux-ci à choisir d'autres plantes hôtes. Il s'agirait alors d'une stratégie d'exploitation des ressources présentes dans l'environnement dont la fonction adaptative est de diminuer la compétition. [22] ont appelé le déplacement des ravageurs autochtones de leur gamme de plantes hôtes et de leur aire d'extension géographique. Ceci a été observé par la présence de *C. gonagra* non seulement chez *T. indica* mais aussi chez *Z. mauritiana*. [15] ont fait la même observation à l'Île de la Réunion sur les agrumes où l'espèce autochtone *Ceratitis catonii* a été déplacée par une succession d'arrivage de *C. capitata*, *C. rosa* et *B. zonata* devenues dominantes sur les plantes hôtes majeures précédemment colonisées par les deux premières espèces de *Ceratitis*.

Quant aux maladies, il est probable que la plupart des pourritures de fruits (Fusariose et Aspergillose) sont associées des piqûres provoquées par les mouches de fruits. Sous l'effet des conditions atmosphériques favorables (humidité relative, température, pluies), elles ont abouti à la désintégration des fruits. Ces mêmes constats ont été faits sur les mangues au Mali [19] et sur les jujubes au Burkina faso par [15].

Il n'y a pas de maladie spécifique observée chez le *T. indica* alors que des tamarins pourris ont été trouvés sans attaquer d'insectes chez les différents cultivars ; cela peut être dû soit au climat, soit aux caractères intrinsèques de ces cultivars. Selon [21], le Tamarinier craint l'humidité excessive et la forte pluviométrie ; ce qui peut être la principale cause car la forte pluviométrie a été constatée cette année.

Si la périodicité d'émergence des insectes (Figures 3 & 5) se confirme, ceci serait un indicateur important pour mettre en place une lutte plus ciblée. Ces pullulations périodiques pourraient être liées à certains facteurs climatiques tels que la température,

l'humidité relative et la répartition pluviométrique. [7] note en effet qu'une augmentation de l'humidité relative de l'air entraînait une augmentation des attaques des mouches des fruits et inversement.

IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVE

Ce travail original a permis de dresser un inventaire des principaux ravageurs et pathogènes concourant à la pourriture des fruits de jujubier et de tamarinier.

Nos résultats ont mis en évidence les maladies et ravageurs potentiels des jujubiers et tamariniers au Mali. Des études complémentaires sur l'identification de l'espèce d'*Agrotis*, *Carpomya*, *Caryedon*, *Scab*, *Aspergillus* et *Fusarium* et sur la biologie, l'écologie et le comportement des ravageurs pathogènes incriminés seront nécessaires pour la définition de méthodes de lutte agroécologique en plantations de jujubiers et de tamarinier au Mali.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée avec l'appui financier de l'ICRAF Mali.

REFERENCES

- [1] B.R. Yaro, "Gestion des produits forestiers non ligneux et réduction de la pauvreté : dynamique de la fréquentation des forêts classées de Dindéresso et du Kou", Mémoire de fin d'études. 2006. p53.
- [2] B. Koné, A. Kalinganire and M. Doumbia, "La culture du jujubier: un manuel pour l'horticulteur sahélien". 2009. p39.
- [3] P. Munier, "le jujubier et sa culture". 1973. p379-380
- [4] B. Lisan, "Fiche présentation arbre : Tamarindus indica L". 2018. Disponible sur Word Wide Web <<http://en.wikipedia.org/wiki/Tamarind>>. Consulté le 15-11-2018.
- [5] B.B. Vashishtha, and O.P. Pareek, "Preliminary studies on the intervarietal crossability in ber (*Ziziphus mauritiana* L)". Annal of the Arid Zone, 1983. 22 (1): 43-45.
- [6] A. Diagne, "Ziziphus mauritiana: hybridation contrôlée entre jujubiers locaux et variété Gola de jujubier". Cyberdocs. 2006. p2.
- [7] S.N. Ouedraogo, Etude des attaques des mouches des fruits (Diptera: Tephritidae) sur la mangue dans la province du Kéné Dougou (Ouest du Burkina Faso). Mémoire de DEA, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo Dioulasso. 2007. p58.
- [8] M.C.E. Dao, "Biologie de la reproduction sexuée de *Ziziphus mauritiana* L. (Rhamnaceae)". DEA,

Université de Ouagadougou, Burkina Faso. 2002. 58p.

[9] G. Delvare and H.P. Aberlenc, "Ordre Diptera". In : Oelvare G. et Aberlenc H.P. Les insectes d'Afrique et d'Amérique tropicale; clés pour la reconnaissance des familles; Prifas-CIRAD, Montpellier, France. 1989. p 229-263.

[10] J. Mignon, E. Haubruge and F. Francis, "Clé d'identification des principales familles d'insectes d'Europe". 2016. 19p.

[11] P. Rieuf, "Clé d'identification des champignons rencontrés sur les cultures maraichères". 2008. 75p.

[12] D.H. Larone, "Guide to identification of fungi in culture". 1995. 168p.

[13] K. Dagno, M. Diourté, R. Lahlali and MH. Jijakli, "Fungi occurring on water hyacinth [*Eichhornia crassipes* (Martius) Solms-Laubach] in Niger River in Mali and their evaluation as mycoherbicides". *J. Aquat. Plant Manage.* 2012. 50: 25-32.

[14] K. Dagno, M. Diourté, R. Lahlali and MH. Jijakli, "Production and oil- emulsion formulation of *Cadophora malorum* and *Alternaria jacinthicola*, two biocontrol agents against water hyacinth (*Eichhornia crassipes*)". *Afr. J. Microbiol. Res.* 2011. 5: 924-929.

[15] M.P. Tankoano, "Identification des agents responsables des piqûres et des pourritures internes des fruits des cultivars indiens de jujubiers au Burkina Faso". (DEA). 2010. p8-15

[16] Y. Carrière and B.D. Roitberg, "Evolution of host selection behaviour in insect herbivores: genetic variation and covariation in host acceptance between population of *Choristoneura rosaceana* (Family: Tortricidae), the obliquebanded leafroller. *Heridity.*" 1995.74: 357-368.

[17] J. Stonehouse, M. Ritchie, T. Paqui, M. NDiaye S. Tchibozo, R. Dabire, L. Jobe and M. Billah, "Etude de dimensionnement des dommages infligés à la production fruitière d'Afrique de l'Ouest par les mouches des fruits et plan d'action pour une réponse coordonnée au niveau régional. Rapport final

[18] CIRAD, "Rapport de mission au Mali sur le complexe des mouches des fruits (Diptera, Tephritidae) inféodées au manguiers". 2000. 42p.

[19] R. N'Dépo Halan., K. Allou, L.R. Aboua, K.P. Kouassi, J.F. Vayssières and M.D. Meyer, "Abondance des mouches des fruits dans les zones de production fruitières de Côte d'Ivoire : dynamique des populations de *Bactrocera invadens* (Diptera : Tephritidae)". 2009. p314-320.

[20] S.N. Ouedraogo, "Dynamique spatio temporelle des mouches des fruits (Diptera, Tephritidae) en fonction des facteurs biotiques et abiotiques dans les vergers de manguiers de l'ouest du Burkina Faso" Thèse Doc, Université Paris Est. 2011, p. 12-29.

[21] P. Sookar, S. Permalloo, M. Alleck and S.J. Seewooruthun, "Development of improved attractants and their integration into fruit fly management programmes. Fruit Flies of Economic importance": From Basic to Applied Knowledge Proceedings of the 7th International Symposium on Fruit Flies of Economic Importance 10-15 September 2006, Salvador, Brazil. 2010. p :71-79.

[22] J. Delange, "Tamarinier arbre magique". Éditions Quintessence. 2013. p 11-12.

[23] J. Stonehouse, M. Ritchie, T. Paqui, M. NDiaye S. Tchibozo, R. Dabire, L. Jobe and M. Billah, "Etude de dimensionnement des dommages infligés à la production fruitière d'Afrique de l'Ouest par les mouches des fruits et plan d'action pour une réponse coordonnée au niveau régional. Rapport final. 2008. 70p

Criblage des variétés améliorées de sorgho à double usage sous forte pression artificielle de *colletotrichum sublineolum* agent causal de l'antracnose à la station agronomique de Sotuba

Karim Dagno¹, Halimatou Timbiné¹, Abdoulaye Diallo¹, Baloua Nébié²
¹IER, Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba. Bamako, Mali
²ICRISAT, Bamako, Mali
 Email : karimdagno@yahoo.fr

RESUME : L'antracnose est une maladie causée par *Colletotrichum sublineolum* qui s'attaque la plante à tous les stades de développement. Elle constitue un problème majeur dans la production du sorgho amélioré à double usage destiné à l'alimentation humaine et animale. Les pertes occasionnées par la maladie sont de 30 à 50%. L'objectif de cette étude est d'évaluer la résistance des 25 descendances de sorgho amélioré de type Guinea/taille moyenne, issues du croisement Kenikenidiéma x Tiandougou coura. Trois types d'inoculum du pathogène ont été utilisés pour induire la forte pression artificielle de l'antracnose dans les parcelles expérimentales. Les plants ont été évalués au stade de maturité physiologique des grains pour la sévérité d'antracnose foliaire suivant l'échelle (1-9). Les résultats obtenus ont illustré des Indices de Sévérité (IS) allant de 2 à 7 correspondant à des rendements de 300 kg à 2000 kg pour les variétés sensibles et résistantes respectivement. Des essais multiloceaux en milieu paysan dans les conditions naturelles d'infestation de la maladie permettront de confirmer les résultats obtenus afin d'identifier les lignées répondant le mieux au choix de production fourragère et de grains de qualité. Ces résultats ouvrent les perspectives d'une production durable du sorgho fourrager et des grains au Mali.

Mots clés : Sorgho fourrager, sorgho grains, antracnose

I. INTRODUCTION

Au Mali, la zone soudano sahélienne est confrontée au problème de disponibilité en terres cultivables et de ressources fourragères pour l'alimentation des animaux. Celui-ci est le fait de l'extension des terres cultivées liée à la croissance démographique, à la faible fertilité des sols et à la précarité de la pluviométrie.

Dans cette région, le sorgho est la céréale dominante et ses pailles constituent la première ressource fourragère dans l'alimentation des animaux de trait et des petits élevages bovins. Pour garantir la sécurité alimentaire des populations et la sécurité des aliments bétail, le Mali doit recourir à une augmentation de la production et plus durable [1]. Afin de mieux répondre aux besoins actuels des agriculteurs et des éleveurs, la recherche doit développer de nouvelles variétés de sorgho dites à double usage qui

cumuleraient un potentiel de rendement grains élevé, une bonne qualité des grains comparable à celle des variétés locales et une bonne valeur nutritive de la paille. L'objectif de cette étude est d'améliorer la sécurité alimentaire et le revenu des producteurs à travers le développement et la diffusion des nouvelles technologies du sorgho.

Pour atteindre cet objectif, une évaluation des variétés de sorgho a été effectuée dans les conditions de forte pression de l'antracnose à la station de recherche agronomique de Sotuba.

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Matériel fongique

Inoculum constitué de colonie pure de *Colletotrichum sublineolum* responsable de la maladie d'antracnose produit en masse sur grains de sorgho stérilisé.



Photo 1 : Production en masse de l'inoculum de *Colletotrichum sublineolum*.

2.2 Matériel végétal

Vingt-cinq variétés en tests préliminaires de rendement ont été évaluées et comparées à 2 témoins de référence (SURENO et IRAT204)

2.3 Méthodologie

Le dispositif utilisé était une simple parcelle d'observation. Chaque descendance a été semée sur une parcelle élémentaire de 2 lignes de 5 m de long aux écartements de 0,75 m entre les lignes et 0,30 m entre les poquets. Le démariage a été effectué à 2 plants par poquet.

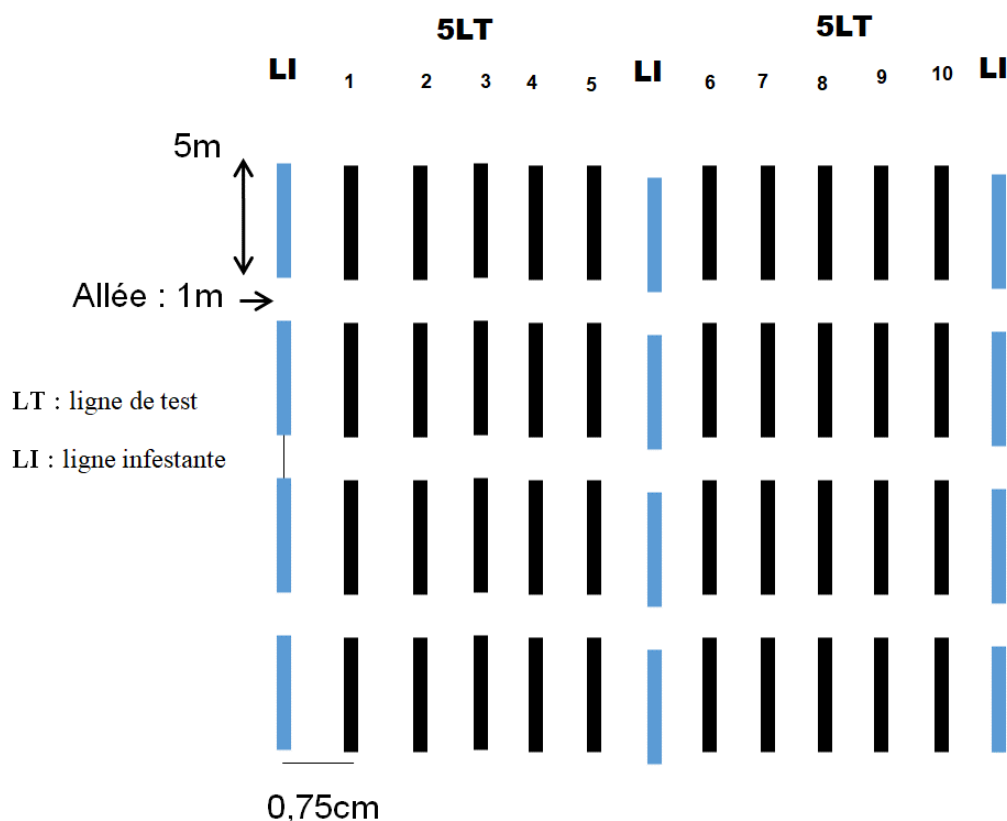
- Mise en place de la pression artificielle de l'antracnose :

Pour créer artificiellement les conditions de forte pression de la maladie d'antracnose, trois inocula ont été utilisés :

- Premier Inoculum: Enfouissement des résidus de récolte de la variété sensible (IRAT204) en début de la campagne 2020.
- Deuxième Inoculum : Semis en ligne intercalaire de la variété sensible IRAT204 quinze jours

avant la mise en place des variétés/Descendances à évaluer.

- Troisième Inoculum : La culture monosporique de *Colletotrichum sublineolum* est réalisée au laboratoire à partir des échantillons de feuilles, panicules ou tiges infectées par le pathogène. Les monospores de *C. sublineolum* sont produites en masse sur des grains de sorgho stérilisés.



Dispositif experimental

✓ Fertilisation

Le Di ammonium phosphate (DAP 18-46-0) a été apporté à la dose de 100kg/ha quinze jours après le semis. L'urée a été apportée à la dose de 50 kg/ha à la montaison.

✓ Observations

Les observations ont porté sur les symptômes de l'antracnose foliaire à différents stades physiologiques : plantule, montaison, floraison et maturité physiologique des grains pour le potentiel rendement et seulement à la récolte pour le potentiel de la production biomasse aérienne. L'échelle (1-9) [2] a été utilisée pour évaluer les symptômes de la maladie sur les feuilles où :

1= (0%); 2 = (5%); 3= (6-10%); 4= (11-20%); 5 = (21-30%);

6= (31-40%); 7= (41-50%); 8= (51-75%) et 9 = (+75%) [2]

L'indice de sévérité (IS) est évalué en appliquant le rapport suivant :

$$IS = [(Note\ feuille1 \times 3) + (Note\ feuille2 \times 2) + (Note\ feuille3 \times 1) / N]$$
 où N= nombre total de feuille évaluée.

2.4 Analyse Statistique

L'analyse des données a été faite à l'aide de GENSTAT, la comparaison des moyennes avec ANOVA et la séparation des traitements avec Duncan's new multiple range test au seuil de 0,05.

III. RESULTATS

Le tableau 1 représente les résultats préliminaires obtenus sur l'évaluation de la résistance des variétés à l'antracnose, *Colletotrichum sublineolum*.

L'analyse de la variance des variétés issues des lignées Type Guinea-Taille moyenne soumises aux conditions de forte pression de l'antracnose a donné une différence significative pour la variable sensibilité à l'antracnose. En effet, des variétés comme IER-SV-018anthFIEARLP, IER-SV-018-anth2-116-2, IER-SV-018-anth4-311-3, IER-SV-018-anth2-251 et 019-SB-CS-F5-37 entre autres ont eu une meilleure résistance avec un indice de sévérité inférieur à 3 comparé à celui du témoin sensible (IRAT avec IS=7).

Les variétés qui ont associé la résistance à l'antracnose et un meilleur rendement grain et en biomasse sont reprises dans la figure 1.

La figure 2 illustre les rendements obtenus par les meilleures variétés à l'antracnose. Les variétés

IER-SV-018anthFIEARLP et IER-SV-018-anth4-311-3 ont non seulement obtenues un bon comportement vis-à-vis de l'antracnose en outre elles eu un meilleur rendement avec respectivement 1297 et 1035 g/parcelle élémentaire à l'instar de certaines variétés vulgarisées.

Tableau 1: Analyse de la variance des variétés issues des lignées Type Guinea-Taille moyenne soumises aux conditions de forte pression de l'antracnose.

Sources	Indice de Sévérité DU de l'antracnose de la Population	Rendement-grain (g/m ²)
019-SB-CS-F5-28	3	675
019-SB-CS-F5-37	2	301
019-SB-CS-F5-5	3	803
019-SB-CS-F5-57	3	770
019-SB-CS-F5-6	3	62
019-SB-CS-Striga -26-1	2	5
IER-SV-018-anth2-116-2	2	758
IER-SV-018-anth2-177-2	2	786
IER-SV-018-anth2-239-2	2	615
IER-SV-018-anth2-251	2	661
IER-SV-018-anth2-307-2	3	641
IER-SV-018-anth4-274	2	521
IER-SV-018-anth4-311-3	2	1035
IER-SV-018-anth4-42	3	551
IER-SV-018-anth4-453-2	3	587
IER-SV-018-anth4-69-1	3	650
IER-SV-018-anth4-70-2	2	713
IER-SV-018-anth5-215-1	3	622
IER-SV-018-anth5-217-1	3	467
IER-SV-018-anth5-294	3	527
IER-SV-018anthFIEARLP	2	1297
KENIKENIDIEMA	5	1503
T1 SRN - 39	4	1924
T2 CSM - 63E	5	1503
T3 IRAT- 204	7	1053
T4 Sureno- 103	4	1124
T5 CSM 388	6	1003
T6 SRN - 34	4	1503
TIANDOUGOU-COURA	6	1503
Moyenne	3	833,21
Signification	S	NS

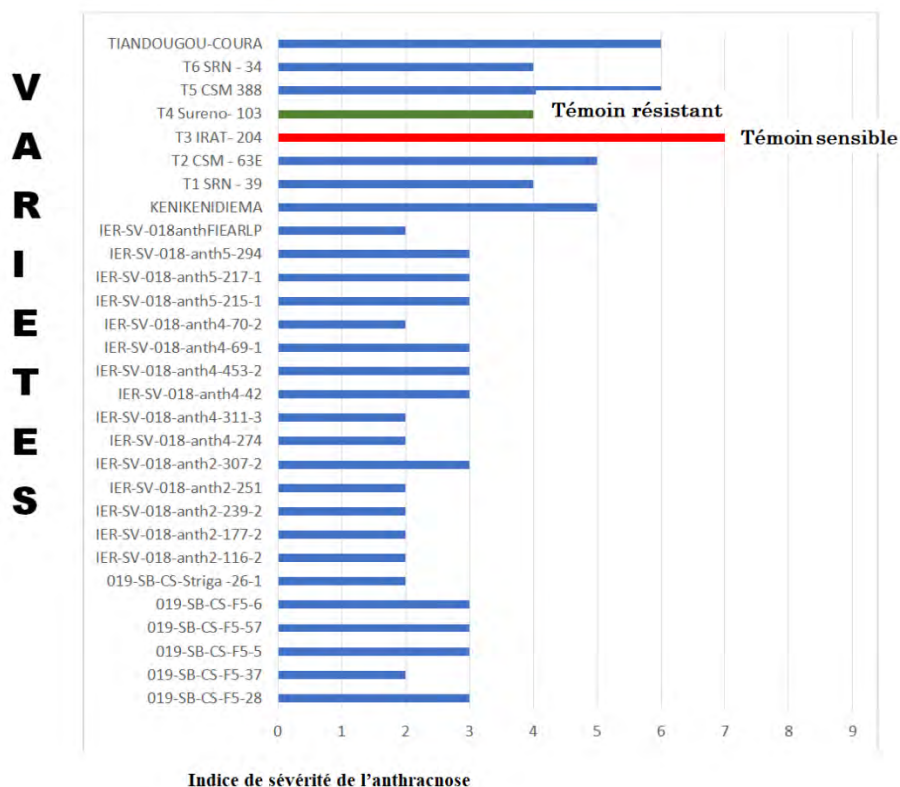


Figure 1 : Histogrammes des meilleures variétés issues des lignées Type Guinea-Taille moyenne résistantes à l'anthracnose en comparaison des indices de sévérité avec les témoins de références et certaines variétés vulgarisées

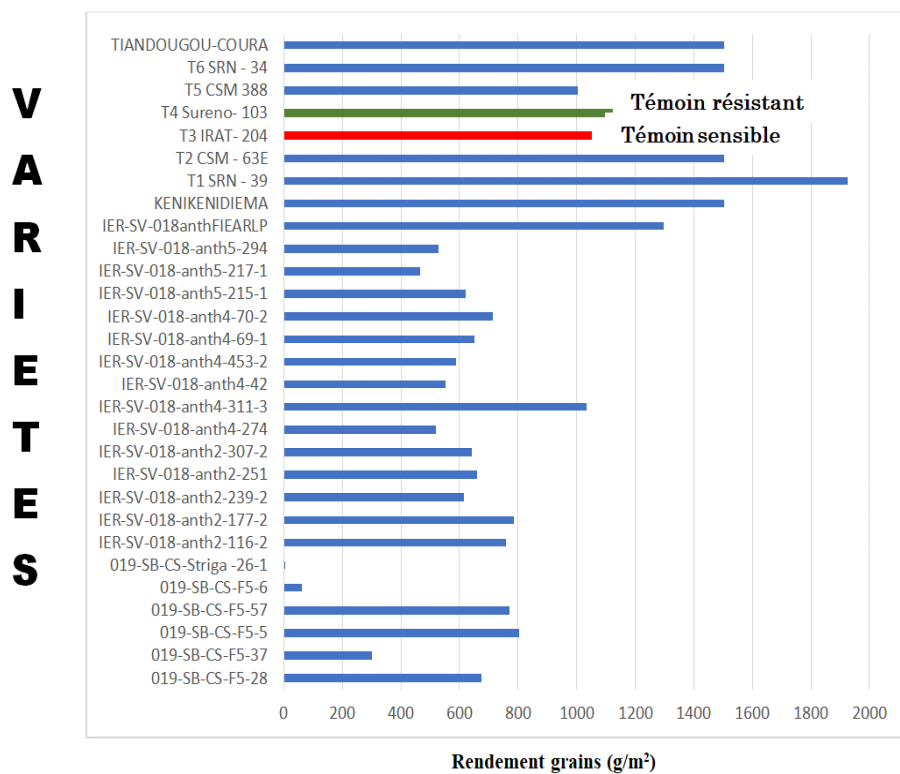


Figure 2 : Histogrammes des meilleures variétés issues des lignées Type Guinea-Taille moyenne résistantes à l'antracnose en comparaison des rendements grains avec les témoins de références et certaines variétés vulgarisées.

IV. DISCUSSION

Des dégâts foliaires dus aux pathogènes s'est beaucoup observé au stade maturité pour les variétés sensibles. Ces dégâts pourraient s'expliquer par l'efficacité d'inoculum, par la susceptibilité génétique des génotypes, aussi certaines conditions favorables au développement de la maladie telles qu'une pluviométrie alternée avec des poches de sécheresse ont favorisés l'expression du pathogène [3]. Ces résultats obtenus dans cette étude sont similaires à ceux de [4] et [5]

V. CONCLUSION

Les différentes variétés de sorgho évaluées vis-à-vis de l'antracnose ont donné des résultats préliminaires très intéressants sur leur résistance à la maladie. La poursuite de cette évaluation dans les conditions naturelles d'infestation du pathogène serait nécessaire pour confirmer ces résultats. Les variétés sélectionnées sont encours de multiplication de semence pour leur vulgarisation en milieu paysan.

REFERENCES

[1] P. Michel" Pour une agriculture mondiale productive et durable" 2011 120p

[2] P. Subrahmanyam., Mc. Donald D, F.Waliyar, JReddy L., Nigam S. N., Gibbons R.W., Ramanatha Rao V., Singh A. K., Pande S., Reddy P. M. & Subba P. V. Rao, "Screening Methods and Sources of Resistance to Rust and Late Leaf Spot of Groundnut, International Crops Research Institute for the Semi-Arid" *Tropics, Patanchem 502-324, Information Bulletin no. 47. 26 p. 1995.*

[3] H. Timbiné, K. Dagno, and A. Diallo, "Criblage des lignées de sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) à double usage pour leur résistance à l'antracnose (*Colletotrichum sublineolum*) à la station de recherche agronomique de Sotuba". Comm. Orale, 1^{ères} JS- DER-BIO – FST/ USTTB, Bamako Mali, 14 Novembre 2020.

[4] M. Dourte, "Les maladies du sorgho au Mali, Deuxième séminaire sur la lutte intégrée contre les ennemis des cultures vivrières dans le sahel" du 4-9 janvier 1990. 2006

[5] M. Touré, "Etudes comparatives de la résistance des variétés 'tan' et non 'tan' de sorgho (*Sorghum bicolor* (L) Moench vis-à-vis des principales maladies à sotuba", mémoire de DEA/ISFRA-Bamako/Mali, 2005. P 7-23

Influence de l'association oignon-niébé sur la dynamique des thrips et production de l'oignon dans les conditions agro-écologiques de Katibougou /Mali

Samba dit M Sissoko¹, Laya Kansaye^{1*}, Seydou Diallo¹, Abdou Soukoundé¹ et Amadou K Coulibaly¹

¹Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou

* Adresse de correspondance : kansayel@gmail.com

RESUME : La culture de l'oignon est confrontée à une forte pression parasitaire conduisant à une utilisation abusive des pesticides avec leurs effets pervers sur la santé humaine et l'environnement. La recherche des solutions alternatives avec l'association oignon-niébé a été menée à l'aide d'un dispositif de blocs aléatoires complets représenté par quatre traitements et cinq répétitions. L'objectif de cette étude était de contribuer à la protection de la culture de l'oignon par une approche de lutte basée sur l'utilisation de *Vigna unguiculata* (variété katché du Benin) comme plante piège et logis des prédateurs et parasitoïdes de plusieurs ennemis naturels de l'oignon. Un seul facteur a été étudié : L'effet du niébé dans la protection phytosanitaire de l'oignon. Les observations entomologiques ont porté sur les plants d'oignon que sur ceux du niébé. Il ressort de notre étude que *Thrips tabaci* a plus de prédilection pour l'oignon (100% des thrips prélevés sur l'oignon sont de l'espèce *tabaci*), les traitements oignon entouré et oignon alterné ne constituent que des barrières physiques pour les thrips de l'oignon. Le nombre de thrips du traitement l'oignon entouré a diminué de 27,49% et celui de l'oignon alterné de 41,5% par rapport à l'oignon pur. Le traitement oignon pur a obtenu le meilleur rendement avec 20,91 t/ha, il est suivi du traitement oignon entouré (14,07 t/ha). Le plus faible rendement est enregistré au niveau du traitement oignon intercalé (11,56 t/ ha). L'analyse de la variance a décelé une différence significative entre les traitements ($p=0,015$) au seuil $\alpha=0,05$. Le niébé n'a pas joué le rôle de plante piège mais a servi de barrière pour *Thrips tabaci*. Les rendements sont restés plus faible au niveau des cultures associées. Ainsi, d'autres études doivent être conduites pour la compréhension et l'amélioration du système d'association oignon-niébé.

Mots clé : association de culture, dynamique, thrips, Katibougou.

I. INTRODUCTION

L'oignon (*Allium cepa* L.) est l'un des légumes les plus répandus et les plus appréciés. Il est l'un des légumes crus les plus commercialisés dans le monde grâce à sa durée de conservation relativement longue [1]. Avec une production annuelle moyenne de 1,1 million de tonnes environ, l'Afrique de l'Ouest représente moins de 2% de la production mondiale d'oignon [2]. Au Mali, sa production au titre de l'année 2014 a été évaluée à 72 664 tonnes [3]. Sa production est confrontée au problème des insectes ravageurs, particulièrement thrips *tabaci* et *Dellia antiqua* (la mouche de l'oignon), deux ravageurs difficiles à contrôler et qui causent le plus de pertes économiques chez les producteurs d'Alliacées (oignons, poireaux, etc.) à travers le monde [3]. Lors des années favorables aux *thrips tabaci* dont la reproduction peut être sexuée ou parthénogénétique, jusqu'à 10 applications d'insecticides peuvent être nécessaires [4]. Il est un des ravageurs du l'oignon les plus difficiles à réprimer. Ainsi, la majorité des producteurs utilisent des pesticides chimiques de synthèse pour le contrôle des agents biotiques. L'utilisation de ces produits est souvent inadéquate et entraîne non seulement des risques d'intoxications et d'éco-intoxications mais favorise aussi l'apparition rapide des résistances des agents pathogènes [5] et

des insectes ravageurs inféodés à la culture. Utilisation des solutions alternatives (respectueuses de l'environnement) aux pesticides chimiques de synthèse s'impose. C'est dans cette optique que nous avons entrepris cette étude afin de déterminer l'influence de l'association oignon-niébé sur la dynamique des ravageurs de l'oignon dans les conditions agroécologiques de Katibougou/Mali ».

II. METHODOLOGIE

2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est composé de la variété d'oignon Violet de Galmi et le niébé katché, une variété originaire du Benin. Le Violet de Galmi est une des variétés d'oignon les plus célèbres de l'Afrique de l'Ouest. Le bulbe a une forme épaisse et aplatie. La peau et la chaire ont une couleur violette. Son cycle est de 160 jours avec un rendement moyen de 50 à 55 tonnes à l'hectare. Quant au niébé katché ; c'est une variété à port érigé à feuilles trifoliées et effilées. Son cycle est de 65 jours dans les conditions d'implantation de l'essai. Elle est de petite taille et de port érigé. Sa floraison débute 45 jours après semis (JAS), les fleurs sont de couleur violette, les graines de couleur brune.

2.3 Site d'expérimentation

L'essai a été implanté au Potager de l'IPR/IFRA de Katibougou sur un sol à texture limono-argileuse. Le précédent cultural de la parcelle était le Quinoa.

2.4 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé est le bloc de Fisher à cinq répétitions avec quatre traitements. Les unités parcelaires sont de 2,31 m x 2 m soit 4,62 m². Elles sont séparées par des allées de 0,25 m et les blocs par des allées de 0,50 m. La superficie d'un bloc est de 20 m² (2 m x 10 m) et celle de l'essai 120 m² (12 m x 10 m). L'essai est constitué au total de 4 traitements:

- T1 : oignon pure (OP) ;
- T2 : oignon (72 plants) entourée par une ligne de niébé (14 poquets) ; OE ;
- T3 : une ligne de niébé (5 poquets) intercalée de quatre lignes d'oignon (72 plants) OA ;
- T4 : niébé pure NP (20 plants).

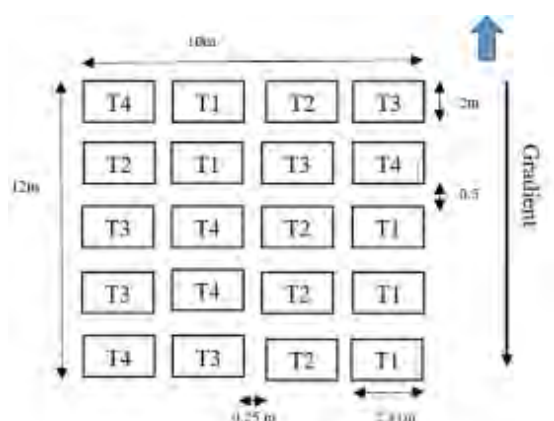


Figure 1. Plan de masse

La culture principale est l'oignon et la plante de service, le niébé. Le facteur étudié est l'effet du niébé dans la protection phytosanitaire de l'oignon pris à 4 niveaux de variation.

2.5 Conduite de l'essai

Un labour léger de la parcelle d'implantation de l'essai a été effectué avec un tracteur en mi-octobre 2018 suivi de l'incorporation de lombricompost à raison huit (8) tonnes/ha et de 200 kg/ha de poudre de graine de neem (pour le contrôle des populations des nématodes phytophages ont été apporté puis les parcelles élémentaires ont été ensuite nivelées pour la préparation du lit de semis. La pépinière de l'oignon a été installée le 25 octobre 2018. Quant au niébé, il a été semé à raison de 2 graines par poquet aux écartements de 0,5m sur les lignes, deux semaines avant le repiquage de l'oignon pour que les périodes d'émission des boutons floraux et des fleurs puissent coïncider avec la formation du plateau méristématique de l'oignon. Le repiquage de l'oignon a été effectué le 09 décembre 2018 soit 43^e jours après le semis en pépinière avec un écartement

de 0,20 m x 0,20 m au stade début ramification les plants de niébé. Les opérations d'entretien se résument à l'irrigation à la raie à la fréquence 2 arrosages par semaine, à 3 sarclo-binages et des désherbages manuels. La récolte des bulbes s'est effectuée exclusivement au 94^{ème} jour après repiquage (JAR).

2.6 Mesures agronomiques et les observations entomologiques

2.7.1 Mesures agronomiques

Les différents paramètres mesurés ont concerné le diamètre moyen au collet, la hauteur moyenne d'un plant et le nombre moyen de feuilles d'un plant, le poids frais moyen d'un bulbe, le diamètre moyen d'un bulbe à la récolte et la hauteur moyenne d'un bulbe à la récolte. Le suivi a été fait sur 10 plants d'oignon marqués pris au hasard sur les lignes centrales pour les traitements OE, OA et 10 autres plants pris à la diagonale pour les traitements OP.

2.7.2 Observations entomologiques

Elles étaient hebdomadaires et ont consisté à faire un diagnostic de tous les organes des deux cultures du collet aux dernières feuilles toutes les semaines à partir de la première date d'observation afin de dénombrer les thrips présents sur les cultures. Après chaque observation des échantillons de 10 thrips sont prélevés respectivement sur l'oignon et sur le niébé pour déterminer les espèces de thrips présentes sur les deux cultures. Pour la recherche des parasitoïdes des échantillons de thrips sont prélevés chaque semaine sur l'oignon élevés dans des boîtes de Pétri.

Pour vérifier d'une part si le niébé à travers ses fleurs a joué le rôle de plante réservoir des thrips de l'oignon et d'autre part de déterminer les différentes espèces de thrips qu'héberge le niébé au stade floraison, nous avons procédé par l'observation d'un échantillon de 20 fleurs de niébé prélevées au niveau de NP tous les sept jours et placées dans des boîtes contenant de l'alcool à 70^o les thrips contenus dans les fleurs ainsi disséquées sont obtenus par filtrage à l'aide d'un tissu blanc. La détermination des spécimens rencontrés a été faite directement au champ ou au laboratoire à l'aide des clés de détermination.

2.7 Traitement et analyse des données

Les données ont été saisies dans le logiciel Excel avant de les analyser avec le logiciel GenStat édition 12 pour déterminer la variance entre les facteurs étudiés, les moyennes ont été également comparées avec le test de Student-Newman-Keuls au seuil de $\alpha = 5\%$. La présentation graphique des résultats a été réalisée à l'aide du logiciel EXCEL.

III. RESULTATS

3.1 Effets du système de cultures sur les paramètres agronomiques

3.1.1 Diamètre moyen au collet

A l'exception de la date mesure du 30° JAR, les diamètres aux collets les plus élevés sont enregistrés au niveau des plants du traitement Oignon pure (OP) avec des valeurs respectives de 0,66 ; 0,76 ; 1,29 ; 1,61 et 1,72 cm pour les dates de mesure du 15° ; 30° ; 45° ; 60° et 75° JAR. Pour les mêmes dates d'observations les plants les moins robustes sont observés au niveau du traitement niébé intercalaire (OA). Cependant, l'analyse de variance des données ne montre pas de différence entre les différents traitements pour les mêmes dates de mesure avec les probabilités $p > 0,05$ au seuil de $\alpha = 0,05$.

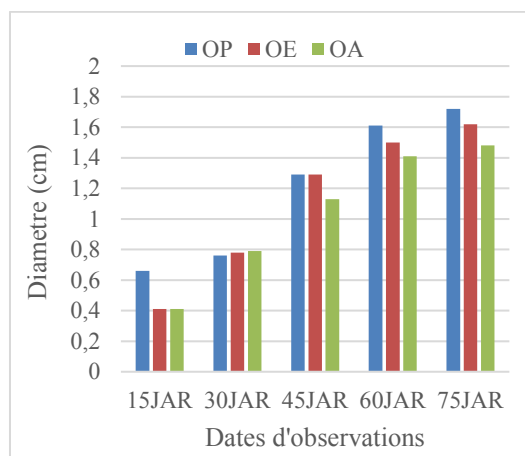


Figure 2. Diamètre moyen au collet des plants d'oignon aux différentes dates

OP : parcelle oignon pure ; OE : parcelle oignon entourée par une ligne de niébé ; OA : Parcelle d'oignon intercalée au niébé ; NP : parcelle de niébé pure.

3.1.2 Nombre moyen de feuilles par plants

A l'exception de la date comptage du 30° JAR, le nombre moyen des feuilles est plus élevés au niveau des plants du traitement Oignon pure (OP) avec des valeurs respectives de 3,70 ; 5,68 ; 7,48 ; 8,66 et 9,92 feuilles pour les dates de comptage du 15° ; 30° ; 45° ; 60° et 75° JAR. Pour les mêmes périodes d'observations les plants les moins feuillés sont observés au niveau du traitement niébé intercalaire (OA). Cependant, l'analyse de variance des données ne montre pas de différence entre les différents traitements pour les mêmes dates de comptage avec les probabilités $p > 0,05$ au seuil de $\alpha = 0,05$.

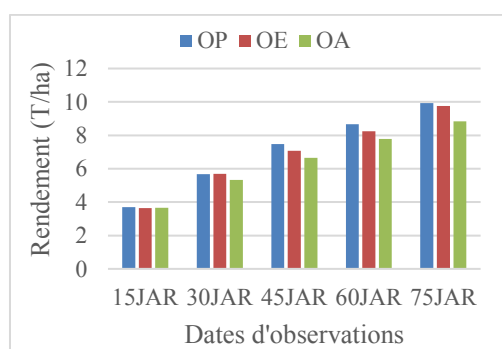


Figure 3. Nombre moyen de feuilles par plants

OP : parcelle oignon pure ; OE : parcelle oignon entourée par une ligne de niébé ; OA : Parcelle d'oignon intercalée au niébé ; NP : parcelle de niébé pure.

3.1.3 Rendement moyen des bulbes à la récolte

Le meilleur rendement est obtenu au niveau des parcelles de l'oignon pure (OP) avec 20,91 t/ha suivi de la parcelle d'oignon entouré par une ligne de niébé (OE) avec 14,07 t/ha. Le plus faible rendement est obtenu sur les parcelles d'oignon avec le niébé en intercalaire (AO) avec 11,56 t/ha. Les résultats de l'analyse de variance indiquent qu'il y a de différence significative entre le rendement de l'oignon sous différents systèmes de cultures avec $p = 0,015$ au seuil $\alpha = 0,05$. Le test de comparaison de Newman Keuls classe les rendements moyens en deux classes constituées de AO et AE et OP.

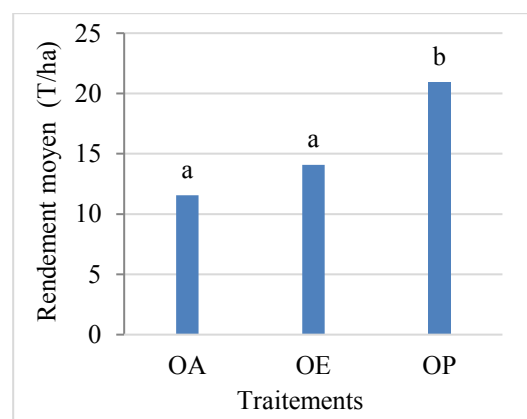


Figure 4 : Effet du facteur étudié sur le rendement des bulbes à la récolte

OP : parcelle oignon pure ; OE : parcelle oignon entourée par une ligne de niébé ; OA : Parcelle d'oignon intercalée au niébé.

3.2 Effets du système de cultures sur l'évolution des populations de thrips

3.2.1 Principales espèces de thrips recensées sur les cultures de l'essai

Au cours des observations sur le terrain et la détermination effectuée au niveau du laboratoire 5 genres de thrips appartenant à la famille des Thripides et des Aélothripes ont été recensés sur la culture du niébé. L'oignon n'a abrité que *Thrips tabaci*.

Tableau 1: Inventaire des espèces de thrips sur l'oignon.

Culture	Famille	Genre et espèce
Oignon	Thripides	<i>Thrips tabaci</i>
Niébé	Thripides	<i>Kakothrips</i> sp. <i>Hercinothrips</i> sp. <i>Mégalothrips sjostedti</i> . <i>Thrips major</i>

	Aélothrips	<i>Aeolothrips sp.</i>
--	------------	------------------------

3.2.2 Importance des espèces de thrips sur l'oignon et le niébé

Des échantillons de thrips prélevés sur OP (témoin oignon pur) et observés au laboratoire à l'aide de la loupe binoculaire et des clés de détermination, il ressort que 100% des thrips prélevés sur l'oignon sont constitués de l'espèce tabaci, par contre ceux prélevés sur NP (niébé pur) ont donné 56,86% (29) de *Megalurothrips*, 25,49% (13) de *Kakothrips*, 11,76% (6) d'*Hercinothrips*, 3,9% (2) de *Thrips major* et 1,96% (1) individu d'*Aeolothrips* a été trouvé sur le niébé. Aucun parasitoïde n'est obtenu lors de l'élevage des thrips. Thrips major et *Aeolothrips* sont très faibles.

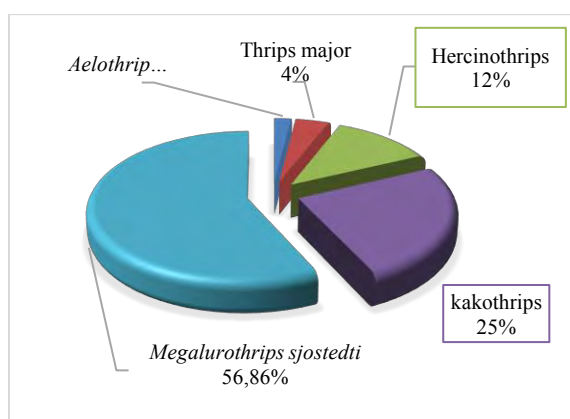


Figure 5. Répartition globale des espèces des thrips recensées sur le niébé

3.2.3 Evolution des populations de *Thrips tabaci* sur l'oignon

La population des thrips accuse une phase de croissance plus ou moins régulière du 22^{ème} au 35^{ème} JAR au niveau des traitements OP, OE et OA. Les pics maxima de 2,76 individus par plant (ipp) sont observés pour les traitements OP au 35^{ème} JAR, et 2,5 et 2,36ipp respectivement pour les traitements AO et OE au 29^{ème} JAR. Les densités de populations au sein des traitements OE et OA ont connu après le pic d'abondance un déclin progressif jusqu'à la fin des observations. Par contre le traitement OP a connu un 2^{ème} pic de 2,8 ipp au 70^{ème} JAR pour chuter à 0,42 ipp au 77^{ème}JAR. Il est à noter que les plus fortes densités de population sont observées dans la parcelle témoin OP. Aucun individu de thrips de l'oignon n'est observé sur le traitement NP (niébé pur). Les plus faibles densités de populations sont recensées dans l'associé OA, caractérisée par une ligne de niébé alternée de quatre lignes d'oignon. L'analyse statistique des données relatives au nombre moyen de thrips par plant a révélé une différence hautement significative avec l'interaction date traitement ($p=0,001$).

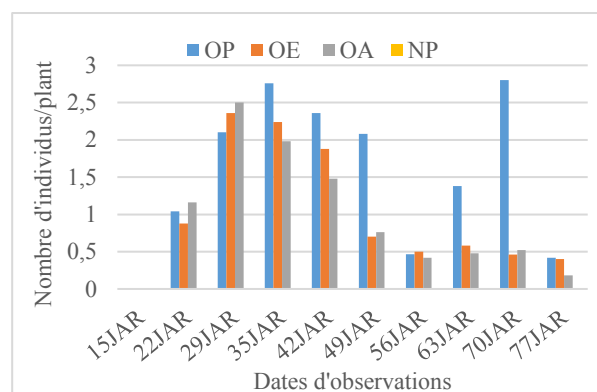


Figure 6. Evolution des populations de *Thrips tabaci*

OP : parcelle oignon pure ; OE : parcelle oignon entourée par une ligne de niébé ; OA : Parcelle d'oignon intercalée au niébé ; NP : parcelle de niébé pure.

3.2.4 Evolution des espèces de thrips recensées dans le temps sur le niébé

À la première date d'observation (15JAR), les densités des espèces de thrips recensées sur le niébé sont faibles avec respectivement, 1, 2, 4, 4 et 0 individus/plant pour les espèces *Aeolothrips*, *Thrips major*, *Hercinothrips*, *Kakothrips*, *Megalurothrips*, pour être nulles durant toute la phase de ramification du niébé. La série des *Megalurothrips sjostedti* absente au début, est apparue au 56 JAR (à la floraison du niébé) où il a enregistré le pic maximal le plus élevé avec 14 individus/plant au 63 JAR suivi d'une régression jusqu'à la fin des observations.

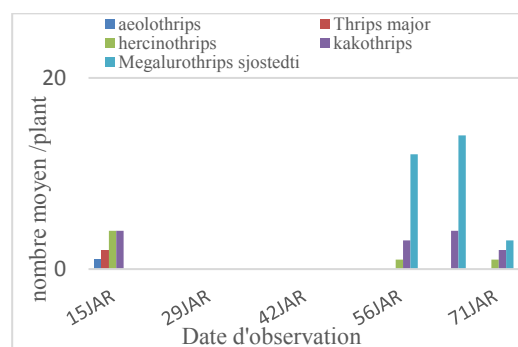


Figure 7. Evolution des espèces de thrips recensées dans le temps sur le niébé

IV. DISCUSSIONS

Au niveau de la courbe du traitement OP, le premier PIC des thrips est remarqué au 35^{ème} JAR soit 2 semaines après leur apparition et le 2^{ème} PIC au 70^{ème} JAR soit également 2 semaines après le point de chute. Selon Valentin [6], le cycle des thrips est de 2 à 3 semaines, *Thrips tabaci* réalise alors un développement biologique normal. Plante hôte très appréciée par *Thrips tabaci* et *Dellia antiqua* [7], l'oignon semble avoir gardé cette potentialité. Qu'il soit semé seul ou en association avec le niébé, l'affection par *Thrips tabaci* pour l'oignon se remarque. En effet, cette prédilection de l'oignon par

ces deux insectes peut être justifiée par plusieurs paramètres ; [8] avancent que l'évolution de la prédilection est généralement favorisée lorsque l'association entre la plante et l'insecte se rapproche d'une relation symbiotique pendant au moins une partie du cycle de vie de l'insecte. Pour Brian (non daté) les femelles de *Thrips tabaci* pondent leurs œufs dans les feuilles de l'oignon et les larves issues de l'éclosion commencent déjà à se nourrir.

Le niébé katché originaire du Bénin n'a pas joué le rôle de plante piège pour *Thrips tabaci* du fait qu'il pas été observé sur cette culture quelques en soit le système d'association. Selon Koch [9], la composition et la concentration de l'odeur d'une plante sont fortement liées aux facteurs environnementaux et l'insecte utilise ces différents facteurs pour éviter des indicateurs répulsifs afin de ne pas tomber sur une plante inadaptée pour leur cycle de vie. Malgré la défaillance du niébé à jouer le rôle de plante piège, on remarque un effet protecteur, une barrière physique induit par cette plante sur l'oignon vis-à-vis de *Thrips tabaci*. En réduisant les mouvements des insectes et par conséquent, la colonisation de l'oignon par ces ravageurs potentiels durant la période de cohabitation. L'effet protecteur du niébé peut être démontré par le nombre de thrips du traitement OE qui a diminué de 27,49% et celui de OA de 41,5% par rapport à OP. Ce résultat est similaire à celui de Tonhasca and Byrne [10], qui stipule qu'en association maïs - niébé, le niébé agirait en entravant les mouvements des foreurs de tige (effet non trophique – barrière physique), que la population de foreurs a diminué de 15 à 25% sur le traitement maïs & niébé, par rapport au maïs pur. Les systèmes de cultures associées OE et OA ont donc un effet sur l'infestation des plants d'oignon.

Les effectifs de *Megalurothrips sjostedti* sont les plus dominants (57% des espèces de thrips trouvées sur le niébé). Ces thrips des fleurs du niébé ont fait leur irruption juste au début de la floraison du niébé, ce qui fortifie nos résultats car selon Bello et al [11], *Megalurothrips sjostedti* est l'espèce de thrips qui s'attaque le plus aux fleurs ou aux boutons floraux du niébé.

V. CONCLUSION ET SUGGESTIONS

L'étude de l'influence de l'association de cultures oignon-niébé sur la dynamique des thrips de l'oignon montre que l'oignon demeure inconditionnellement la plante hôte de prédilection des *Thrips tabaci*. Le niébé, plante hôte de beaucoup d'espèces de thrips n'a pas joué le rôle de plante piège pour *T. tabaci*, Cependant, à défaut d'être une plante piège efficace, le niébé joue le rôle de barrière physique pour *ce ravageur*.

Les rendements des traitements associés ne sont pas satisfaisants par rapport à la culture pure. D'après

tous ces résultats, nous pouvons affirmer que l'association oignon-niébé ne s'est pas révélée efficace. Mais bien que préliminaires, ces résultats mériteraient plus d'investigations à travers les prochaines études que nous suggérons à effectuer avec des variétés locales de niébé ou alors avec des plantes reconnues comme étant des plantes hôtes de *Thrips tabaci* principal ravageur de l'oignon.

REFERENCES

- [1] N.-E. Benin, « Analyse diagnostique de la production et de la commercialisation de l'oignon de 1995 à 2009 au Nord-Est du Bénin », 2012.
- [2] M. D. Bethesda, « Oignon / Etude Afrique de l'Ouest |Reca-Niger », valuation sous-régionale de la chaîne de valeurs oignon/échalote en Afrique de l'Ouest. Projet ATP, Oignon / Etude Afrique de l'Ouest, 2008. <https://reca-niger.org/spip.php?article107> (consulté le juill. 01, 2021).
- [3] Camille Li-Marchetti, « Dernières avancées dans la lutte contre les thrips, cycle biologique et ennemis naturels. » 2017.
- [4] E Grigno, N. Roullé, C. O. Grady, M. Leblanc, et O. Desbiens, « Lutte intégrée contre les thrips de l'oignon vert et l'oignon sec », SD.
- [5] S. Royal, « Alternative aux pesticides ». 2011.
- [6] V. Vidal-Ribeil, « L'utilisation de paillages ou de plantes fleuries en culture de ciboulette sous abris permet-elle de limiter la population de Thysanoptères phytophages ? », p. 72.
- [7] S. Houamel, « Etude bioécologique des thrips inféodés aux cultures sous serre dans la région d'El Ghrous (Biskra) », PhD Thesis, UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA, 2013.
- [8] N. Sauvion, P. A. Calatayud, D. Thiéry, et F. Marion-Poll, « Scenarios évolutifs d'interaction entre insectes phytophages et plantes. IRD/QUAE. 16 pages. - Recherche Google », 2013. <https://www.google.com/search?client=opera&q=Scenarios+%C3%A9volutifs+d%E2%80%99interaction+entre+insectes+phytophages+et+plantes.+IRD+%2FQUAE.+16+pages.&sourceid=opera&ie=UTF-8&oe=UTF-8> (consulté le juill. 02, 2021).
- [9] T. Koch, « Comparaison du niveau d'activité de *Thrips tabaci* et de ses ennemis naturels entre une parcelle aménagée avec des plantes de service et une parcelle de poireaux traditionnelle », PhD Thesis, Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes (Ctifl), ZI Belle ..., 2015.
- [10] A. Tonhasca Jr et D. N. Byrne, « The effects of crop diversification on herbivorous insects: a meta-

analysis approach », *Ecological Entomology*, vol. 19, no 3, p. 239- 244, 1994.

[11] S. Bello, A. O. Babalakoun, J. Zoudjihékpon, et K. A. Coulibaly, « Diversité de l'entomofaune du

niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walpers) au Nord-Ouest du Bénin », *Journal of Applied Biosciences*, vol. 132, p. 13424- 13438, 2018.

Introduction du niébé et de la dolique dans les exploitations agricoles pour la production animale en zone péri urbaine de Mopti

DEMBELE Bandiougou¹, KEITA Moussa^{1*}, N'DIAYE Brehima², BA Alassane¹, Coulibaly Doubangolo¹

¹Institut d'Economie Rurale, Bamako, Mali

²Inspection du Ministère de l'Environnement, de l'Assainissement et du Développement Durable, Bamako, Mali

*Auteur correspondant : moussakeita59@yahoo.fr

Résumé : La région de Mopti est la première région d'élevage du Mali avec 2 887 740 têtes de bovins, 2 659 500 têtes d'ovins et 3 833 850 têtes de caprins (DNPIA, 2014). Plusieurs actions de recherche-développement ont été entreprises depuis les années 80 à travers l'insertion de soles fourragères dans les systèmes de production, afin de contribuer à l'amélioration des besoins nutritionnels des animaux. C'est dans ce contexte que la présente recherche-développement intitulée « Test d'introduction du niébé et de la dolique dans les exploitations agricoles péri urbaine de Mopti », a été mise en œuvre avec les acteurs concernés.

La présente recherche vise à contribuer à l'amélioration des systèmes de production d'élevage. Ainsi, les villages de Komboko et Niacongo dans la commune rurale de Fatoma dans la région de Mopti ont été choisis en partenariat avec les agro-éleveurs. Les activités menées ont porté sur l'établissement de la situation de référence des exploitations agricoles et la production de fourrages de niébé et de dolique chez 10 agro-éleveurs pour chaque spéculation dans les deux villages. La parcelle de chaque producteur constitue une répétition.

Les résultats de l'étude sur la situation de référence montrent que la principale activité des exploitations est l'élevage suivie de l'agriculture. Les principales espèces animales sont les bovins, les ovins, les caprins et les asins. Le système de culture est basé sur le mil-sorgho. La production moyenne de biomasse de la dolique a été de 2 140 kg/ha MS pour le village de Komboko et de 1 680 kg/ha MS pour le village de Niacongo. La production moyenne de biomasse du niébé a été de 1 960 kg/ha MS pour le village de Komboko et de 1 540 kg/ha MS pour le village de Niacongo.

Mots clés : niébé ; dolique ; lait ; Mopti ; Mali.

I. INTRODUCTION

Le Mali avec l'un des effectifs de cheptel les plus importants de l'Afrique de l'Ouest, demeure un pays importateur de lait et de produits laitiers. Il importe annuellement environ 10 à 15 milliards de FCFA en produits laitiers surtout le lait en poudre d'Europe (USAID-Mali 2011). La région de Mopti avec le grand nombre de cheptel national, est la région d'élevage par excellence couvrant une superficie de 79017 km² soit 6,34% du territoire national. Sans compter les transhumants qui viennent y séjourner depuis les régions de Ségou et de Tombouctou, le nombre de cheptel de la région de Mopti est évalué à 2 887 740 têtes de bovins, 2 659 500 têtes d'ovins et 3 833 850 têtes de caprins qui fait d'elle la première région d'élevage du Mali (DNPIA, 2014). Le troupeau bovin est le moteur de développement économique et social de la région de Mopti. Cet élevage est confronté aujourd'hui, à la diminution des aires de parcours (parcours naturels, jachères, friches abusives...) accentuées par l'emprise agricole à travers les aménagements hydro-agricoles. La zone inondée du Delta Central du Niger avec d'immenses ressources pastorales notamment, les bourgoutières pouvant supporter un nombre important de bovins pendant une bonne partie de l'année connaît des problèmes liés à la baisse de la crue. Le développement de la riziculture a fortement modifié la gestion et l'accès à ces ressources. En

plus, les contraintes alimentaires font que les laitières n'arrivent pas à extérioriser pleinement leur potentiel laitier. En conséquence, la supplémentation des vaches laitières devient nécessaire pour lever ces contraintes et asseoir durablement une production régulière de lait dans un contexte où les produits laitiers importés pèsent lourdement sur l'économie du pays. Une alternative est l'insertion des soles fourragères dans les systèmes de production. Malgré les avantages liés à la production de biomasse de qualité et en quantité et l'amélioration du taux de fertilité des sols, cela a été peu suivi. Toutefois, la diffusion des résultats de recherche sur les légumineuses fourragères en station et en milieu paysan s'est butée non seulement à la disponibilité des semences et à la sensibilité aux maladies, mais aussi aux contraintes socio-économiques des exploitations agricoles familiales. Le manque de perception des producteurs et les avantages liés aux cultures des céréales (priorité donnée aux cultures alimentaires et de rente) ont joué en défaveur de l'adoption des cultures fourragères pour l'alimentation du bétail. C'est dans ce cadre que la présente recherche-développement intitulée « Test d'introduction du niébé et de la dolique dans les exploitations agricoles pour la production animale en zone péri-urbaine de Mopti » a été initié et mis en œuvre avec les différents acteurs et la CRU de la région de Mopti.

II. MATERIEL ET METHODES

2.1. Zone d'étude

Les villages de Niacongo et Komboko dans la commune de Fatoma ont été choisis pour abriter les expérimentations de commun accord avec la Commission Régionale des Utilisateurs des Résultats de la Recherche (CRU) de Mopti. Les villages de Niacongo et Komboko comptent respectivement 309 et 96 ménages avec une population de 1 646 personnes soit une moyenne de cinq (5) personnes par ménage et 530 personnes soit une moyenne de six (6) personnes par ménage (INSTAT, 2009). On rencontre dans les deux villages une diversité d'ethnies (peul, rimaïbé, dogon) dont le peul reste majoritaire. Ces deux villages sont localisés sur le même terroir dans la même zone agro écologique.

Les types de sols qu'on trouve dans ces deux villages sont limono-argileux et sablo-limoneux qui se prêtent aux cultures céréalières et maraichères.

Le système de production est dominé par les céréales tel que, le sorgho, le mil et les légumineuses (niébé et arachide) tandis que le système d'élevage est dominé par les gros ruminants (bovins) suivi des petits ruminants (ovins et caprins). Bien que cette

région soit une zone d'élevage par excellence, les éleveurs et agro éleveurs pratiquent la transhumance sous deux formes dont la transhumance en saison sèche sur les bourgoutières et celle pratiquée en saison des pluies sur les pâturages du Seno. Pour la valorisation des résidus de récolte, les animaux séjournent sur les parcelles cultivées pendant 1 à 2 mois environ à partir des mois de Novembre et Décembre. Les producteurs gardent en moyenne 2 à 4 vaches laitières pour l'alimentation quotidienne des nourrissons et des vieilles personnes en période de soudure.

Le climat de la zone est de type soudano-sahélien. Les écarts de température entre le jour chaud et la nuit fraîche sont énormes. La saison sèche dure 8 à 9 mois et la saison des pluies de plus en plus courte 3 à 4 mois. Il se caractérise par des pluies précoces ou tardives et souvent la sécheresse sévit après les premières pluies.

Sur le plan hydrographie, le village de Komboko est arrosé par un marigot appelé Yamè, qui prend sa source à 5 km de Bandiagara. Il inonde les terres adjacentes où les populations cultivent les céréales (riz, sorgho) et font le maraichage et la plantation d'Eucalyptus.

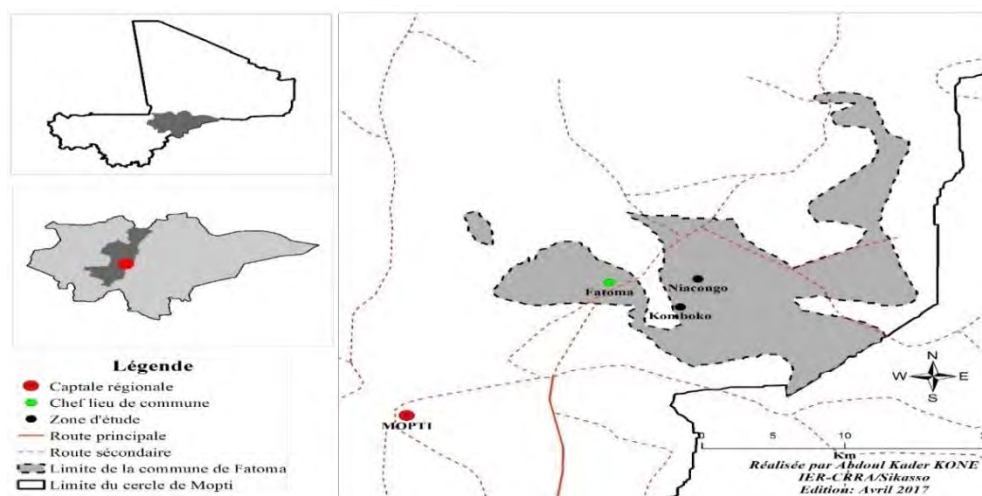


Figure 1 : Carte de localisation des villages d'étude

2.2. Collecte et analyse des données

L'étude sur la situation de référence a été menée auprès des exploitations agricoles répertoriées dans les deux villages. Un questionnaire semi-structuré a été administré individuellement auprès des 66 exploitations agricoles sélectionnées dont 44 à Komboko et 22 à Niacongo. Les données collectées ont concerné les caractéristiques structurelles des exploitations agricoles, l'inventaire du matériel agricole et du cheptel, les caractéristiques du système de culture et les productions agricoles.

Les données ont été saisies dans Microsoft ACCESS. Le logiciel STATA version 14 a été utilisé pour le traitement et l'analyse des données.

- Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est constitué des légumineuses suivantes :

Niébé : (*Vigna unguiculata*) Variété IT89KD-245, SANGARAKA

Dolique : (*Dolichos lablab*)

- Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est un bloc dispersé en champs paysans où la parcelle de chaque producteur représente une répétition. La superficie de la parcelle élémentaire a été de 0,25 ha.

Les intrants agricoles utilisés sont :

- Semences (niébé, dolique)
- Engrais DAP
- Pyral 480 EC (480 g/l de Chlorpyrifoséthyl)

Conditions de réalisation de l'expérimentation

- Itinéraire technique du Niébé et de la Dolique

La quantité de semence utilisée pour chaque espèce est de 20 kg/ha. Le semis a été effectué aux écartements 80 x 50 cm à raison de 2 à 3 graines par poquet et démarrié à 2 plants après la levée. La dose de l'engrais de fond DAP apportée au semis a été de 35 kg/ha en micro-dose. Le premier sarclage a été effectué 15-21 jours après le semis (JAS) et le 2^e sarclage 15 jours après le premier et le reste à la demande.

Un seul traitement au Pyral 480 EC a été effectué dès l'apparition des piqueurs-suceurs au moment de la floraison.

La fauche des feuilles de légumineuses a été effectuée en octobre à 10 cm du sol au début du jaunissement des feuilles basales.

Evaluation de la biomasse

La méthode du placeau suivant la diagonale de la parcelle a été utilisée pour évaluer la biomasse végétale. Dans chaque parcelle, la biomasse à l'intérieur des trois jets de placeau de 1 m² (1 m x 1 m), a été fauchée, séchée et pesée séparément pour l'évaluation de la matière sèche (MS).

III. RESULTATS

Caractéristiques sociodémographiques des chefs d'exploitation des villages d'étude

Le Tableau 1 donne les informations générales sur les chefs d'exploitations agricoles dans les 2 villages d'étude. A Niacongo, les chefs d'exploitations enquêtés sont tous des hommes tandis qu'à Komboko, 11% sont des femmes. Tous les chefs d'exploitation ne sont pas mariés. Les chefs d'exploitation mariés varient de 89% à Komboko à 91% à Niacongo. Néanmoins, des veufs existent dans les deux villages et représentent 9% de l'effectif à Niacongo et 11% à Komboko. La majorité (52%) des chefs d'exploitation ont au moins, 40 ans à Komboko. Par contre à Niacongo, 68% des chefs d'exploitations ont un âge compris entre 40 et 60 ans. Au regard de ces différentes fourchettes d'âge, les chefs d'exploitation des deux villages sont favorables à l'adoption de la technologie proposée.

Tableau 1: Caractéristiques générales des chefs d'exploitation

Caractéristiques des chefs d'exploitation agricole	Komboko		Niacongo	
	n	(%)	N	(%)
Sexe				
Homme	39	89	22	100
Femme	5	11	0	-
Statut matrimonial				
Marié(e)	39	89	20	91
Célibataire	0	0	0	0
Veuf (ve)	5	11	2	9
Age				
Jeunes ≤40 ans)	23	52	1	5
Adultes (>40 et ≤60 ans)	14	32	15	68
Vieux (> 60 ans)	7	16	6	27

Niveau d'instruction des chefs d'exploitation

La Figure 2 montre les différents niveaux d'instruction des chefs d'exploitation des deux villages d'étude. Seuls 5 % des chefs d'exploitation de village de Niacongo ont été formés en langue locale. Par contre, dans le village Komboko, aucun chef d'exploitation n'a reçu une formation en

langues locales. Par ailleurs, dans les deux villages de Niacongo et Komboko, respectivement 41 % et 68 % des chefs d'exploitation ont fréquenté l'école coranique. Cela peut s'expliquer par la pratique de l'islam qui constitue la principale religion dans cette région. Le niveau de l'éducation formelle des enfants est variable d'un village à l'autre et à l'intérieur du

même village. Les proportions varient de 7 % pour le premier cycle dans le village de Komboko et 32 % à Niaconco. Les résultats des enquêtes ont également montré que 9 % des chefs d'exploitation ont atteint le second cycle à Niaconco et 14% à Komboko. Il

n'existe pas de chef d'exploitation non scolarisé à Niaconco.

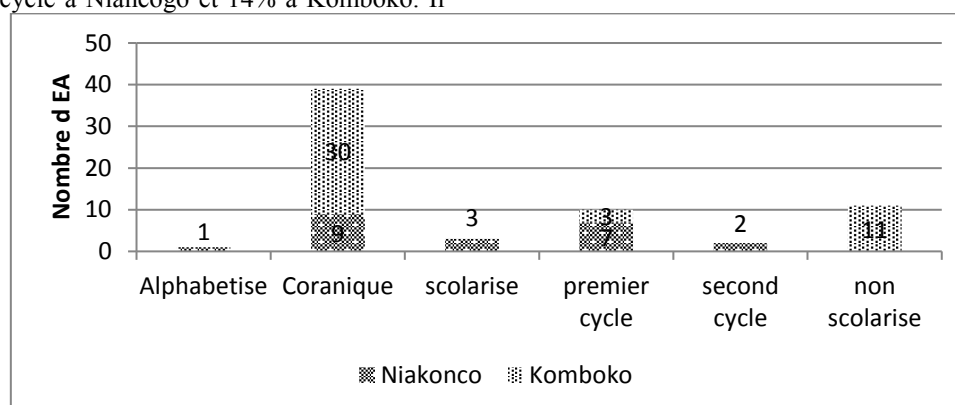


Figure 2 : Niveau d'instruction des chefs d'exploitation

Matériel et équipement agricoles des exploitations

Le Tableau 2 indique le nombre de matériels agricoles détenus par les exploitations agricoles à Niaconco et Komboko. L'analyse statistique des résultats a révélé une différence significative entre les nombres de matériels disponibles par type et par

village. Les nombres de râteaux, de coupe-coupes et de pelles déclarés à Komboko ont été nettement supérieurs à ceux notés à Niaconco. Par contre les nombres des autres matériels et équipements agricoles (charrettes asines, charrue TA, houe et pioches) enregistrés dans les 2 villages sont restés statistiquement équivalents.

Tableau 2 : Nombre moyen de matériel agricole par exploitation

Equipement	Komboko		Niaconco		Test statistique	
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	t-test	P-value
Charrette asine	1,29	0,75	1,2	0,41	0,41	0,68
Charrue TA	1,82	1,05	1,83	1,38	0,41	0,68
Râteau	1,44	0,53	1	0	2,04	0,06*
Coupe-coupe	3,2	1,55	1,8	0,84	1,87	0,08*
Houe (Daba)	4,86	3,78	5,09	4,10	-0,23	0,82
Pelle	2,75	1,58	1	0	3,33	0,00***
Pioche	3	1,41	3,5	2,51	-0,26	0,80

Note: *, ***, niveau de signification à 10% et 1 % respectivement.

Importance du cheptel des exploitations agricoles

Les résultats de sondage de l'effectif du cheptel dans les exploitations agricoles des villages de Komboko et de Niaconco dans la Commune Rurale de Fatoma figurent dans le Tableau 3. L'analyse des résultats

n'a montré aucune différence significative en termes d'effectif moyen du cheptel par espèce animale entre les 2 villages. Cependant, une tendance à la hausse du nombre de bovins, d'ovins et de caprins a été observée à Niaconco par rapport à Komboko.

Tableau 3 : Effectif moyen du cheptel par espèce animale des exploitations agricoles

Espèces Animales	Komboko		Niaconco		Test statistique	
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	T-test	P-value
Bovin	6,67	10,93	8,12	23,06	-0,64	0,52
Caprins	9,67	13,42	10,45	11,23	-0,36	0,72
Ovins	9,63	9,64	12,48	24,28	-0,62	0,54
Asins	1,36	0,58	1,32	0,45	0,28	0,78

Importance de l'élevage bovin dans les villages d'expérimentation

Le Tableau 4 indique l'effectif moyen du cheptel bovin par exploitation et par village. Les résultats des enquêtes menées dans les 2 villages montrent qu'à Komboko comme à Niacongo, on constate que

l'exploitation agricole possède en moyenne 4 bœufs de trait. Le nombre moyen de vaches possédées par exploitation est de 13 à Komboko et 28 à Niacongo. Dans les 2 villages, les animaux de trait constituent la base de la traction animale.

Tableau 4 : Effectif moyen du cheptel bovin par exploitation

Catégorie de bovins	Komboko		Niacongo	
	Effectif moyen (nombre)	Ecart type	Effectif moyen (nombre)	Ecart type
Bœuf de trait	4	2,32	4	2,63
Taureaux	1	0,39	1	0
Taurillons	10	13,42	5	6,88
Vaches	13	15,32	28	49,32
Génisses	11	14,98	7	12,03
Veaux	9	10,42	18	23,78

Systèmes de culture (Superficie, production des cultures)

Le Tableau 5 renseigne sur les superficies moyennes exploitées et les productions moyennes dans les deux villages des principales cultures des exploitations agricoles au cours de la campagne 2015-2016. L'analyse des résultats d'enquête révèle que les superficies moyennes cultivées sont statistiquement identiques dans les deux sites. Dans le village de Komboko, la superficie moyenne emblavée en mil par exploitation est de 6,42 ha avec une production de 2090,34 kg. Pour le sorgho, la moyenne de 2,78 ha avec une production de 988,29 kg. Quant aux légumineuses (niébé et arachide), leur superficie varie de 0,51 à 1,25 ha avec une production de 131,11 à 144,55 kg respectivement pour le niébé et l'arachide. S'agissant du village de Niacongo, les

céréales (sorgho et mil) superficies sont 2,82 et 5,23 ha avec une production moyenne de 947,06 à 1665,91 kg respectivement pour le sorgho et le mil. Les superficies emblavées pour le niébé et l'arachide varient de 4,66 et 0,96 ha avec pour une production moyenne de 118,11 à 102 kg respectivement.

Les rendements moyens des cultures à Komboko et à Niacongo ont été respectivement de 330 et 320 kg/ha pour le mil, 360 et 330 kg/ha pour le sorgho, 240 et 190 kg/ha pour l'arachide, 200 et 150 kg/ha pour le niébé. Le riz n'étant pas cultivé à Komboko, son rendement moyen observé à Niacongo a été estimé à 1640 kg/ha.

Tableau 5 : Superficie et production moyennes pour la campagne agricole 2015-2016 (en ha et kilogramme)

Type cultures-		Komboko		Niacongo		Test statistique	
		Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	T-test	P-value
Niébé	Production	144,55	156,075	118,11	74,54	0,68	0,50
	superficie	1,25	2,06	4,66	8,80	-1,55	0,13
Mil	Production	2090,34	1765,95	1665,91	902,30	1,05	0,29
	superficie	6,42	5,43	5,23	2,92	0,96	0,34
Arachide	Production	131,11	79,40	102	37,36	1,09	0,29
	superficie	0,51	0,13	0,975	1,59	0,29	0,23
Sorgho	Production	988,29	897,76	947,06	519,76	0,16	0,87
	superficie	2,78	2,32	2,82	1,32	-0,07	0,94

Pratiques d'embouche

L'embouche des animaux est pratiquée par 36% des exploitations à Komboko contre 23% à Niacongo

(Tableau 6). La pratique d'embouche des bovins est la plus répandue et concerne respectivement 32% et 18% des exploitations à Komboko et Niacongo. Elle

est suivie de celle des ovins. Ces faibles taux de la pratique d'embouche obtenus pourraient s'expliquer par le manque d'aliment adéquat et les difficultés d'accès aux intrants d'élevages bien que la zone soit reconnue comme la première région d'élevage.

L'analyse statistique des résultats obtenus ne montre pas de différence significative entre les trois types d'embouche des animaux. Cela montre que la pratique de l'embouche quelle que soit l'espèce est homogène.

Tableau 6 : Pratique d'embouche des animaux

Variabes	Réponses	Komboko (%)	Niacongo (%)	Chi2	p-value
Pratique Embouche	Non	64	77	1,2571	0,262
	Oui	36	23		
Bovins	Non	68	82	1,375	0,241
	Oui	32	18		
Ovins	Non	80	82	0,0479	0,82
	Oui	20	18		
Caprins	Non	95	95	0	1
	Oui	5	5		

Pratique de la transhumance

Les résultats des entretiens avec les chefs d'exploitations agricoles de Komboko et de Niacongo sur la pratique de transhumance montrent que la pratique de la transhumance est bien développée dans cette zone (Tableau 7). L'analyse statistique de ces résultats montre qu'il y a une différence significative entre les deux villages au seuil de 1 %. La moitié des exploitations agricoles familiales du village de Niacongo (53%) pratique la transhumance contre 32% des exploitations à Komboko.

Bien que la transhumance soit une activité culturelle ou ancestrale dans le centre du pays, elle est accentuée aujourd'hui par la surexploitation des zones de pâturage et la mise en place des cultures des dites zones. La transhumance concernant une partie

du troupeau est plus pratiquée à Niacongo selon 100% des répondants. Dans le même village, 100% des exploitations agricoles envoient tout leur troupeau en transhumance. Par contre à Komboko, seulement 20% des enquêtés envoient une partie de leur animaux en transhumance tandis que 55% envoient tout le troupeau. Les résultats des entretiens ont également montré que les exploitations préfèrent séparer les animaux en plusieurs lots pour mieux exploiter les ressources fourragères par le troupeau restant en vue d'assurer l'alimentation des nourrissons et des vieilles personnes avec les faibles quantités de lait produites par les laitières gardées sur place.

Tableau 7 : Pratique de la transhumance des animaux

Variabes		Komboko (%)	Niacongo (%)	Chi Square	p-value
Pratique transhumance	Non	68	47	7,87	0,01***
	Oui	32	53		
Tout troupeau	Non	55	100	14,35	0,00***
	Oui	45	0		
Partie troupeau	Non	80	0	5,21	0,02**
	Oui	20	100		

Note: **, ***, niveau de signification à 5% et 1 % respectivement

Production de lait en fonction des saisons

La production laitière en fonction des saisons est consignée dans le tableau 8. L'analyse des résultats montre une différence significative entre les exploitations agricoles qui produisent du lait en

saison de pluie et en saison chaude au seuil de la probabilité de 1%. Pour la saison des pluies, 96 % des exploitations agricoles produisent du lait contre seulement 34 % en saison sèche. Cela peut s'expliquer par l'abondance de l'alimentation

naturelle sur le pâturage pendant la saison des pluies et de la haute valeur fourragère des espèces ligneuses et herbacées dans la région.

Quant à la quantité de lait produite par saison, l'analyse statistique montre aussi une différence significative entre les deux saisons ($P \leq 0,01$). Néanmoins, les quantités de lait produit diffèrent énormément d'une exploitation agricole familiale à une autre. C'est seulement au courant de la saison

des pluies que les agro-éleveurs produisent du lait selon les villages d'étude. Par contre, durant la saison sèche, aucune exploitation agricole familiale ne produit du lait. Cela indique aussi la faible gestion de revenu en terme monétaire des agro-éleveurs de ladite localité.

D'où l'importance de produire des fourrages de haute valeur nutritive pouvant répondre aux attentes des agro-éleveurs de la dite région.

Tableau 8 : Production de lait en fonction de la saison

		Saison de pluie (%)	Saison chaude (%)	Chi2	p-value
Production de lait	Non	4	65	60,728	0,00***
	Oui	96	34		
Quantité de lait produite	0	61	100	19,0761	0,00***
	2	4	0		
	5	4	0		
	6	4	0		
	8	4	0		
	10	9	0		
	12	4	0		
	20	9	0		

Note :***, niveau de signification à 1 %

Production des fourrages de la campagne agricole 2016-2017

Les activités de «Conception avec les acteurs, des techniques de production du niébé et de la dolique dans les systèmes de production» au cours de cette campagne agricole 2016-2017 ont essentiellement porté sur le respect et le suivi du respect des itinéraires techniques de la production de fourrages et l'évolution de la biomasse du niébé et de la dolique.

Itinéraires techniques des cultures fourragères

Dans l'ensemble, les itinéraires techniques consignés ont été suivis du labour à la récolte. Le niébé et la dolique ont été semés entre le 28 Juillet et le 9 Août 2016 à Niacongo. Par ailleurs, à Komboko, les semis ont été effectués entre le 30 Juillet et le 9 Août 2016. Les semis du niébé et de la dolique ont été effectués à l'écartement de 80 cm entre les lignes et 50 cm sur les lignes. Les doses de semences utilisées étaient de 20 kg/ha pour le niébé et 12 kg/ha pour la dolique.

Pour la fertilisation minérale, le DAP a été appliqué en micro dose en raison de 35 kg / ha au moment du semis.

Evaluation de la biomasse

Le Tableau 9 présente le rendement de biomasse obtenu par type de spéculations. L'analyse des

résultats a montré que le rendement moyen du niébé enregistré à Komboko a été statistiquement supérieur à celui de Niacongo. Le taux d'augmentation de rendement du niébé à Komboko était de 21,4% par rapport à celui de Niacongo. Par contre, aucune différence significative n'a été observée entre les rendements moyens de la dolique dans les 2 villages. Ces résultats de recherche sur la dolique à Komboko sont comparables à ceux trouvés par Dembélé *et al.* (2015) dans le vieux bassin cotonnier avec des rendements de l'ordre de 2 334 kg MS/ha.

En ce qui concerne le niébé, le rendement obtenu dans le cadre de cette étude à Komboko, a été supérieur à ceux rapportés sur deux variétés de niébé fourragers par ESPGRN-Niono (1997, 1998) à l'issue de leurs travaux d'introduction des légumineuses fourragères dans la zone de l'Office du Niger qui ont été respectivement, de 800 kg MS/ha et 1 700 kg MS/ha. Les rendements élevés du niébé et de la dolique à Komboko s'expliquent par le fait que les producteurs de ce village ont plus ou moins respecté les itinéraires techniques, mais aussi que ce site bénéficie de l'affleurement de la nappe alimentée par un cours d'eau «Yamin» qui passe près du village. Cependant, ces rendements sont en deçà du potentiel de production de ces cultures fourragères.

Tableau 9 : Production moyenne de biomasse des cultures fourragères

Village	Dolique		Niébé		t-test	p-value
	Nombre parcelle	Production biomasse (kg MS/ha)	Nombre parcelle	Production Biomasse (kg MS/ha)		
Komboko	5	2140 (650,38)	5	1960 (320,94)	0,5550	0,5941
Niacongo	5	1680 (496,99)	5	1540 (270,19)	0,5534	0,5951
Total	10	1910 (597,1227)	10	1750 (356,682)	0,73	0,48
t-test		1,26		2,24		
p-value		0,24		0,06 *		

Note : * niveau de signification à 10 % et les chiffres entre parenthèses indiquent les écart-types

Utilisation des fourrages produits à l'échelle des exploitations agricoles familiales

Cette activité de valorisation de fourrage produit pour la production de lait et de l'embouche ovine ou caprine n'a pas pu être réalisée suite aux contraintes telles que (i), le non-respect des consignes donnés dans le protocoles, (ii) le non-respect de l'engagement pris par les producteurs (exceptés 2) de fournir dans le cadre de la valorisation des résultats, le nombre d'ovins nécessaire convenu pour les activités d'embouche, (iii) la réclamation par les producteurs, des animaux pour l'activité du rationnement dont l'achat n'était pas prévu, (iv), la vente des fourrages produites par certains producteurs préférant l'argent que la technologie proposée.

Tous ces facteurs se sont révélés au moment de l'utilisation des fourrages produits selon les objectifs de production (production de lait ou de viande). Par ailleurs, il est à signaler que la perception des producteurs de cette zone freine beaucoup la recherche agronomique et le transfert de technologie aux producteurs.

CONCLUSION

L'étude sur l'état de lieux des exploitations agricoles a permis d'avoir des données actualisées sur les exploitations agricoles dans la commune rurale de Fatoma. Les résultats de l'étude ont permis de caractériser les contraintes et opportunités quant à l'insertion du niébé et de la dolique dans les systèmes de production dans la zone péri-urbaine de Mopti en vue de contribuer à la résolution des problèmes d'alimentation des animaux en saison sèche et d'amélioration de la fertilité des sols évoqués dans cette zone.

Au cours de la campagne agricole 2016-2017, les rendements moyens de la dolique ont varié de 1 680

kg MS à Niacongo à 2 140 kg/ha à Komboko. Pour le niébé, ils ont varié de de 1540 kg/ha MS à Niacongo à 1960 kg/ha à Komboko.

REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de cette étude. De façon spécifique, nous adressons nos sincères remerciements à toutes les populations de la zone d'étude pour le partage de leurs connaissances.

REFERENCES

Dembélé B., Traoré A., Ba A., Coulibaly D., Kané M., Yossi H., 2015. Test de techniques de production et d'utilisation de légumineuses fourragères dans les systèmes de production en zone cotonnière du Mali, Rapport de campagne 2014-2015, 22p.

DNPIA, 2014. Rapport annuel 2014, DNPIA, Bamako, Mali, 123 pages

ESPGRN/Niono, 1998. Fiche technique 1997-1998 : Introduction des légumineuses fourragères dans la zone de l'Office du Niger.

INSTAT, 2009. 4ème Recensement Général de la Population et de l'Habitat (R.G.P.H). Résultats provisoires. Ministère de l'Economie et des Finances, Bureau Central du Recensement (BCR), Bamako, Mali, 2p. [<http://instat.gov.ml/documentation/mali.pdf>]

USAID 2011: Evaluation du secteur agricole du Mali, 263p.

Ali, A. (2010), Variabilité et changements du climat au Sahel : ce que l'observation nous apprend sur la situation actuelle. Grain de sel, 49: 13-14.

Comparaison des différentes formules de fumures sur deux variétés de blé (*triticum eastivum*) dans les conditions agro-climatiques de Katibougou (Koulikoro, Mali)

Adama TOGOLA¹, Aly KANSAYE¹, Korka S COULIBALY²

^{1,2}IPR/IFRA de Katibougou, Koulikoro

Email : kansayeali2014@gmail.com

Résumé : La production nationale du blé demeure faible soit une production moyenne annuelle de 45668 tonnes en 2014 contre 5510 tonnes en 2016 et 2017. Sa culture est confrontée à de nombreux problèmes, notamment le faible niveau des techniques culturales que de nos jours sont jugées traditionnelles, la faible productivité du matériel végétal, le manque de fertilisation adéquate pour la culture du blé au Mali et enfin le manque de moyens adéquats au niveau des producteurs (semoir, batteuse, matériel de traitement phytosanitaire).

La recherche de matériel végétal performant et panifiable et d'utilisation des techniques culturales améliorées demeure aujourd'hui la préoccupation des autorités du Mali pour rehausser le niveau de la production nationale de blé.

La présente étude sur « Effet de différentes formules de fumure sur le comportement deux variétés de blé » qui s'est déroulé dans laboratoire d'Agro-physio -génétique et de Biotechnologies végétales de l'IPR/IFRA de Katibougou avait pour but d'apporter sa contribution dans la recherche de variété à haut potentiel de rendement et à la meilleure formule de fertilisation sur la culture du blé dans la zone soudano-sahélienne du Mali.

Le dispositif était le split plot pris a trois (03) répétitions avec comme facteur principal, la variété prise à deux niveaux de variations et le facteur secondaire, différentes formules de fumure présent à trois niveaux de variations. Les observations agronomiques ont porté sur les paramètres de croissance et de développement.

Les résultats ont montré des différences hautement significatives pour le délai 50% floraison, la hauteur moyenne des plants à la récolte, et une différence significative pour les paramètres suivants : le diamètre au collet, la profondeur d'enracinement et la longueur d'épi. Par contre elle n'a pas montré de significative pour les paramètres suivants : la surface foliaire, le nombre de talles fertiles, le nombre de poquets levés, le poids de milles graines, le nombre de graine par épi, le poids de grain par épi, la biomasse aérienne, la biomasse souterraine, le nombre de talles et le rendement. Les rendements ont varié respectivement pour Humbara 7,87t/ha et 8,18t/ha pour Tétra. Ces rendements sont supérieurs à la moyenne nationale qui est 4t/ha. Ce qui procure des perspectives heureuses pour la culture du blé en zone soudano-sahélienne du Mali.

Mots clés : Comparaison, formule, fumure, variété blé, Katibougou, Mali

1. INTRODUCTION

Le Mali dispose de plusieurs atouts en matière de la culture de blé (Touré, 2000 cité par CRRA-Gao, 2008) un potentiel en terre irrigable dans la région nord, le climat, l'existence d'un marché potentiel à travers les grands moulins du Mali, etc. Le potentiel des terres exploitables pour la culture du blé est estimé à 45.000 ha dans la Région de Tombouctou. La région de Kayes et la zone nord de l'Office du Niger (Kogoni) disposeraient également de ressources hydriques importantes et de conditions agro-climatiques favorables à la culture du blé (KONE, 2004). Cependant la production nationale du blé demeure faible. Cette faible production de blé au Mali peut s'explique par le faible niveau de technique culturales qui de nos jours sont jugées traditionnelle, la faible productivité du matériel végétal ,enfin le manque de moyens adéquats (semoir, batteuses, matériel de traitement phytosanitaire et irrigation),les subventions accorde aux blé européen et américain et l'absence

d'infrastructure dans les sites actuels de production, augmentation considérable des couts de transports des intrants et évacuation de la production. La recherche de matériel végétal performant et panifiable et d'utilisation des techniques culturales améliorées demeurent aujourd'hui la préoccupation des autorités du Mali pour rehausser le niveau de la production nationale de blé. (DEMBELE, 2015).

La fertilisation est l'un des facteurs les plus déterminants du rendement d'une culture, qu'elle soit céréalière ou autre. Sa maîtrise est essentielle pour l'amélioration de la production même lors de campagnes difficiles et conditions de culture pluviale puisque la fertilisation, même dans ce cas, permet aux plantes d'utiliser l'eau de manière optimale (A GUENNOUNI).

C'est dans ce contexte que le laboratoire d'agro-physio-génétique et de la biotechnologie végétale a mis en place un essai enfin d'apporte sa contribution

à la recherche de formule de fertilisation pour la culture du blé au Mali.

Objectifs

Objectif général

Contribuer à l'amélioration de la production et de la productivité du blé au Mali

Objectifs spécifiques

- Déterminer les paramètres agromorphologiques de deux variétés de blé ;
- Identifier la meilleure variété ;
- Déterminer la meilleure formule de fertilisation pour le blé au Mali.

Matériel et méthodes

Matériel

Le matériel végétal utilisé pour la réalisation de cet essai est composé de Humbara (V1) et Trétra (V2)

Méthodes

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est le split plot à trois répétitions ; chaque bloc constitue une répétition ; chaque répétition est en deux parcelles principales lesquelles sont subdivisées en trois sous parcelles.

Facteurs étudiés

Deux facteurs ont fait objet d'étude pour la réalisation de cet essai à savoir :

Facteur principal : la variété prise à 2 niveaux de variations ;

Facteur secondaire : les différentes formules de fumure prises à 3 niveaux de variations

F1= 100kg/ha de complexe céréale

F2= 100kg/ha de complexe céréale CC+ 25kg /ha de l'urée

F3= 100kg/ha de complexe céréale CC+50kg /ha de l'urée

Dimensions d'un demi-fût

Le diamètre d'un demi-fût mesurait 0,57 m et sa hauteur 0,36 m ; Ce qui nous a donné une surface de 0,025m² avec un volume de 0,09 m³. La surface exploitée était de 4,59 m² avec un volume total de 1,62m³. La distance entre les allées était de 1 m et la distance entre les demi-fûts était de 0,50m et l'espace entre un demi-fût et les bordures horizontales étaient de 0,25m et 0,50m au niveau des bordures verticales.

Paramètres observés

Les observations agronomiques ont été réalisées sur trois plants par demi-fût choisis au hasard et elles ont porté sur les paramètres suivants :

- Nombre de talles ; Il a été déterminé par un simple comptage.
- La hauteur moyenne de plant à la récolte ; a été mesurée du collet à l'extrémité de la dernière

feuille à l'aide de la règle sur les trois plants sélectionnés les jours de la récolte. Diamètre au collet ; a été fait les 45^{ème} jours à l'aide de pied à coulisse sur les trois plants

- Nombre de talles fertiles ; comptage a commencé après épiage.
- Surface foliaire ; nous avons mesuré la longueur et la largeur de la dernière feuille multiple par 0,75
- Biomasse aérienne ; après la récolte on a séché et pesé les pailles.
- Biomasse souterraine ; après la récolte on a lavé les racines, les séchées et les pesées.
- 50% délai de floraison ; on a commencé à compter le nombre d'épis fleuries jusqu'à ce que on a eu 50% floraison dès l'apparition des premières fleurs.
- Poids de mille graines ; après battage des épis de blé récoltés dans chaque demi-fût ; mille graines ont été comptées et pesées pour chaque demi-fût en déterminant leur poids.
- Profondeur d'enracinement ; après lavage des racines on les a mesurées à l'aide d'un ruban.
- Nombre de grains par épi : après récolte séchage battage et vannage on a compté le nombre de grains par épi.
- Poids de grain par épi ; après récolte, séchage et battage on a compté les grains de chaque épi et ensuite on les a pesés.
- Rendement ; le rendement a été obtenu par pesage des échantillons prélevés dans chaque demi-fût, pour ce faire nous avons récoltés les plants de chaque demi-fût les séchés pendant cinq jours, les battés et les pesés après vannage.

Conduite de l'essai

Remplissage des demi-fûts :

L'essai est conduit dans les conditions semi-contrôlées dans 18 demi-fûts. Les demi-fûts ont été remplis avec des terreaux plus la terre un rapport 1.1

Semis dans les demi-fûts :

Le semis a été effectué aux écartements de 18 cm sur 18 cm en raison de 5 graines par poquet soit 9 poquets par demi-fût.

Traitement phytosanitaire

Nous avons utilisé des extraits de Neem (*Azadirachta indica*), un biopesticide préparé à base de feuilles et des graines. En raison de 2 L de produit / ha dilué dans 8 litres d'eau soit 0,00039L de produit dilué dans 0,004L d'eau pulvérisée dans la parcelle.

Arrosage : Réalisé tous les jours à 6 h du matin et à 18 h du soir en raison de 4000 ml par demi-fût

Analyse des données

Les données collectées sur les variables retenues lors de nos observations au champ ont

été saisies, vérifiées et décrites avec un tableur Excel version 2016 par le calcul des moyennes, erreur standard et coefficient de variation (CV). Le même logiciel Excel a servi aussi d'établir les courbes des paramètres sous lesquelles les accessions ont été évaluées, L'analyse des variances (ANOVA) a été réalisée sur les variables grâce au

Résultats et discussion

Analyse des variances des différents paramètres

Pour les variétés par rapport aux différents paramètres mesurés, l'analyse de variance a relevé une différence hautement significative pour le paramètre 50% délai de floraison et une différence significative pour les paramètres suivants : diamètre au collet et la profondeur d'enracinement en revanche elle s'est pas montrée significative pour les paramètres suivants: hauteur moyenne à la récolte, surface foliaire, nombre de talles fertiles, nombre de poquet levé, poids de milles graines, nombre de graine par épi, poids de grain par épi, biomasse aérienne, biomasse souterraine, nombre de talles et le rendement. Pour la fertilisation par rapport aux différents paramètres mesurés, l'analyse de variance a relevé une différence significative pour les paramètres suivants : hauteur moyenne à la récolte et 50% délai de floraison par contre elle s'est pas montrée significative pour les paramètres suivantes nombre de poquet levé, diamètre, surface foliaire, longueur d'épi, nombre de graine par épi, poids de grain par épi, poids de milles graines nombre de talles fertiles, biomasse aérienne, biomasse souterraine, profondeur d'enracinement, nombre de talles et le rendement. Pour l'interaction variété-fertilisation par rapport aux différents paramètres mesurés, l'analyse de variance a relevé une différence significative pour le paramètre suivant 50% délai de floraison en revanche elle s'est pas montrée significative pour les paramètres suivantes : nombre de poquets levé, nombre de graine par épi, nombre de talles, diamètre au collet, hauteur moyenne à la récolte, poids de grain par épi, poids de milles graines, longueur d'épi, nombre de talles fertiles, biomasse aérienne, biomasse souterraine, profondeur d'enracinement, surface foliaire et le rendement. Les coefficients de variation (cv) des différents niveaux varient de 0,4 à 13,8%

Nombre moyen de talles par plant

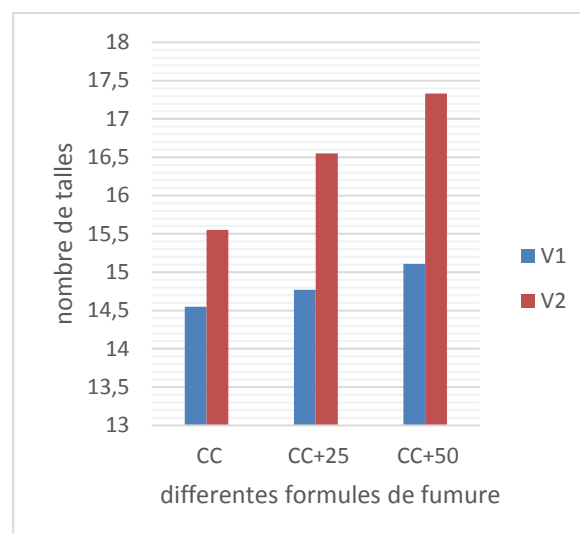


Figure 1 : Nombre de talles selon les différentes formules de fumure

La valeur agronomique du nombre de talles dont la moyenne de traitement de V2 sous effet de la formule de fumure CC+50 a donné la plus grand nombre de talles, soit 17,33 talles et V2 sous le même effet a donné 15,11 talles en revanche la moyenne des traitements de V1 et de V2 sous effet de la formule de fumure CC ont donné les plus petits nombre de talles soit 14,55 talles et 15,55 talles (figure3).

Hauteur moyenne à la récolte

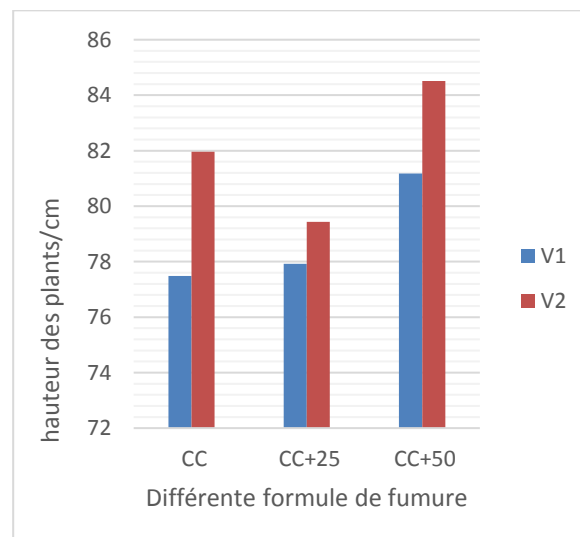


Figure 2 : Hauteur des plants selon les différentes formules de fumure

La moyenne des traitements de la valeur agronomique de la hauteur a montré que V2 et V1 sous effet de la formule de fumure CC+50 ont donné les plus grandes tailles respectivement 81,18 cm et 84,51 cm par contre sous effet de la formule de fumure CC et CC+25, respectivement V1 et V2 ont donné les plus petites tailles soit 77,48cm et 79,44 cm (figure 4).

Diamètre au collet

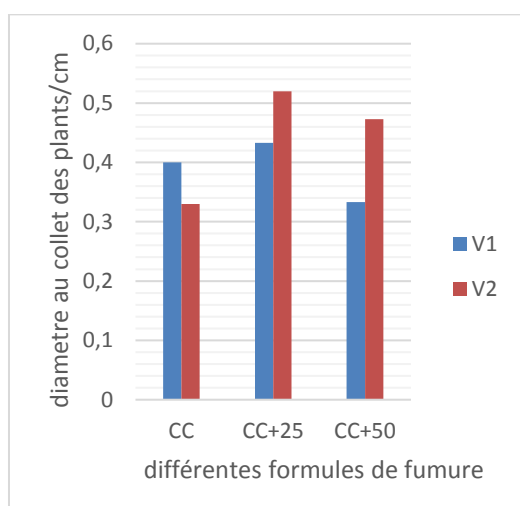


Figure 3 : diamètre au collet selon les différents niveaux de fumures.

Il ressort de la figure 3 que la moyenne des traitements de V1 et de V2 observés au niveau de la formule de fumure CC+25 enregistre les plus grands diamètres soit 0,43 cm et 0,52 cm cependant V1 et V2 respectivement sous effet de la formule de fumure CC+50 et CC ont donné les plus petits diamètres de 0,33 cm.

Délagé 50% de floraison

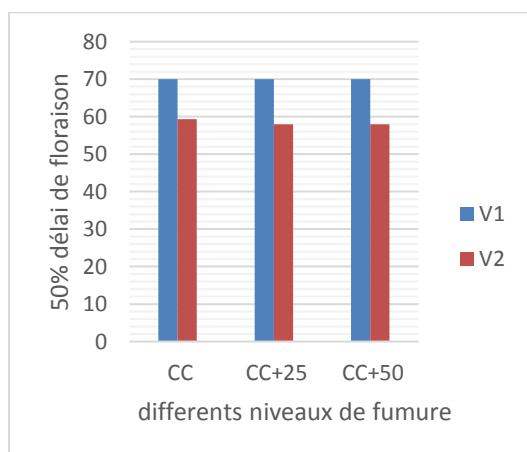


Figure 4 : Délagé 50% de floraison selon les différents niveaux de fumure

Dans la figure 4 la moyenne de V1 a donné la même date de 50% délagé de floraison pour les différentes formules de fumure (CC, CC+25 et CC+50) cependant V2 a donné deux dates différentes pour les 50% délagé de floraison 58 jours pour les formules de fumure (CC+25 et CC+50) et 59^{ème} jour pour CC.

Surface foliaire

La moyenne de la valeur agronomique de la surface foliaire de V1 à 257,1 cm² et de V2 à 181,6 cm² sous effet de la formule de fumure CC+25 ont donné les

plus larges surfaces foliaires cependant V1 et V2 respectivement sous effet de la formule de fumure CC et CC+25 ont donné les plus petites surfaces foliaires (figure 5).

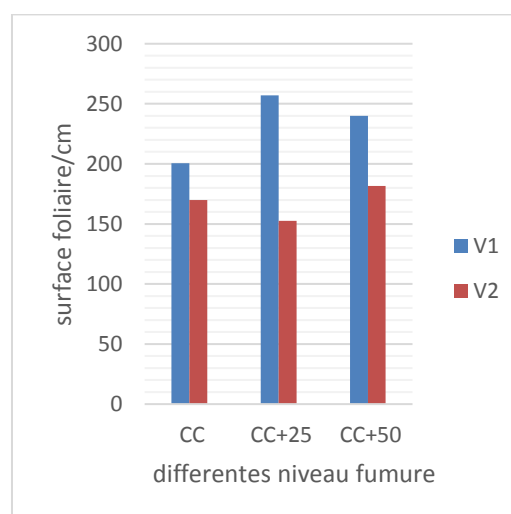


Figure 5 : Surface foliaire selon les différentes formules de fumure

Longueur d'épi

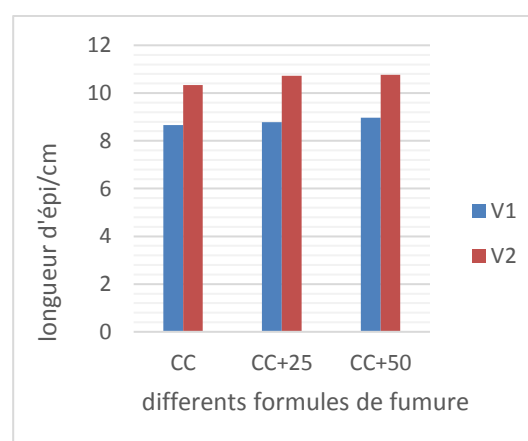


Figure 6 : Longueur d'épi selon les différentes formules de fumure

L'observation de la longueur d'épi s'est relevée plus longue pour la variété humbara (V1) à 10,76 cm et tetra (V2) à 8,97cm sous effet de la formule de fumure CC+50N cependant la variété tetra (V2) et humbara(V1) ont été moins longues sous formule de fumure CC respectivement 10,34 cm et 8,66cm (figure 6).

Nombre de grain par épi

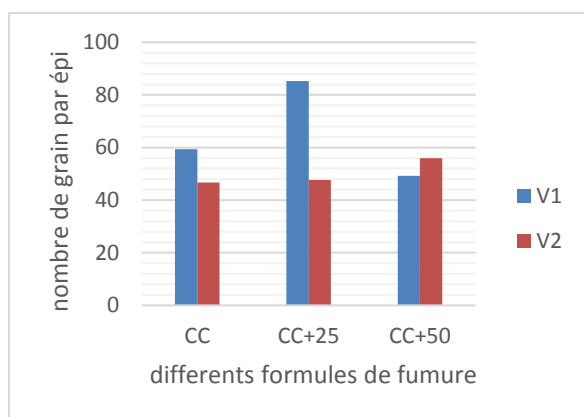


Figure 7 : Nombre de grain par épi

Il ressort de la figure 7 que la moyenne du nombre de grain par épi des variétés humbara (V1) et tetra (V2) observées respectivement sous effet de la formule de fumure CC+25N à 85,3 et CC+50N à 56 ont donné les plus grands nombres de grain par épi en revanche les plus petits nombres de grain par épi ont été observés sous les formules de fumure CC pour Tetra (V1) à 46,7 et CC+50 N pour Humbara (V2) à 49,3.

Nombre de talles fertiles

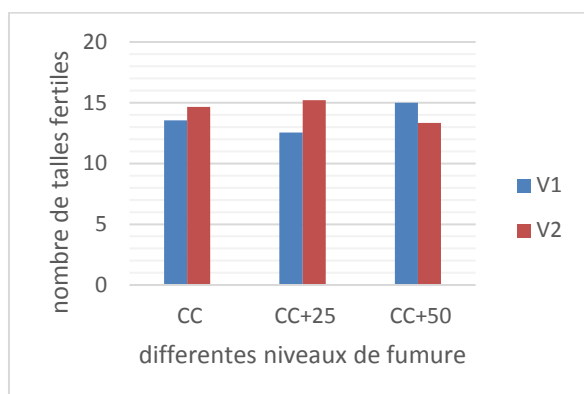


Figure 8 : Nombre de talles fertiles selon les différents niveaux de fumure

Valeur agronomique montre que la moyenne des traitements V1 et V2 sous effet de la formule de fumure CC+25 et CC + 50 ont donné les plus grands nombres de talles fertiles et les plus petits nombres de talles fertiles ont été observés dans la moyenne des traitements V1 et V2 respectivement sous effet de la formule de fumure CC+50 et CC+25 (figure 11)

Poids de grain par épi

Il ressort de la figure 12 ; que sous effet de la formule de fumure CC+50N, V1 et V2 ont les plus grands nombres de grain par épi soit 68,37g et 48,07g en revanche V1 et V2 respectivement sous effet de la formule de fumure CC et CC+25N on a eu le plus petit nombre de grain par épi 62,55g et 43,96g

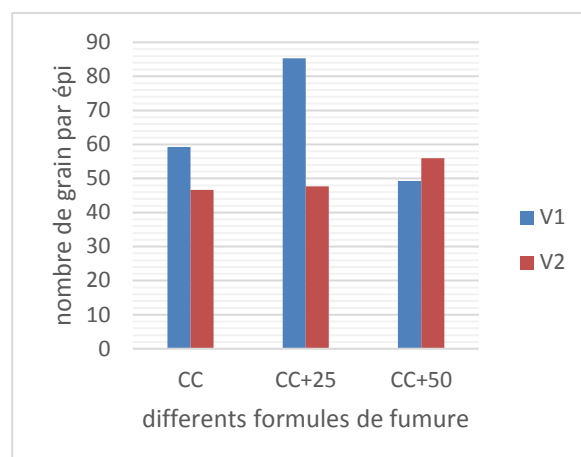


Figure 9 : nombre de grain par épi selon les différentes formules de fumures

Profondeur d'enracinement

Valeur agronomique de la profondeur d'enracinement de V1 et de V2 respectivement sous effet de CC et de CC+50 ont donné les plus longues enracinement de 19 et 16 cm alors que V1 et V2 sous effet de la formule de fumure CC et de CC+25 ont donné les plus petites longueurs d'enracinement de 14 et 18 cm (figure13).

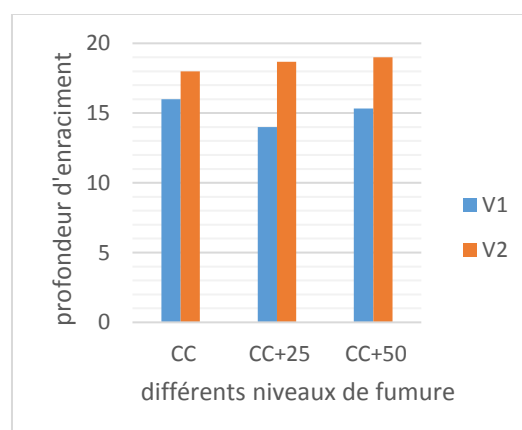


Figure10 : Profondeur d'enracinement selon les différents niveaux de fumure de V1 et de V2 sous effet de la formule de fumure CC+50 ont donné les plus petits poids respectivement 0,7g et 0,85g

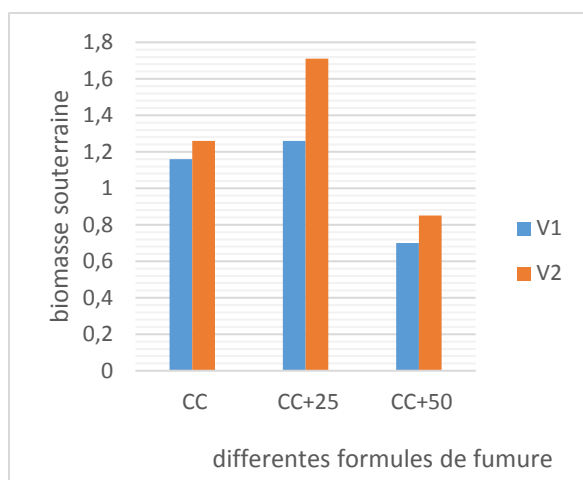


Figure 11 : biomasse souterraine selon les différentes formules de fumure

Biomasse souterraine

Il ressort de la (figure 11) que la moyenne des traitements de V1 et de V2 sous effet de la formule de fumure CC+25 ont donné les plus grands poids respectives 1,26g et 1,71g.

Biomasse aérienne

La moyenne de la valeur agronomique de V1 et V2 sous effet de la formule de fumure CC+50 ont donné les plus grands poids respectifs de 205,7g et 171,3g en revanche V1 et V2 respectivement sous effet de la formule de fumure CC et CC+25 ont donné les plus petits poids de 188g et 139 g (figure12).

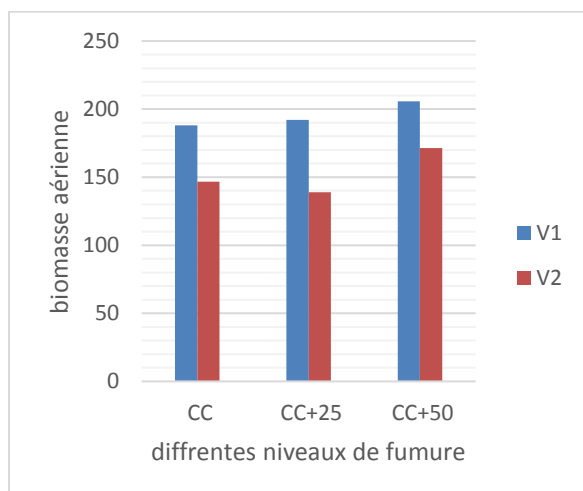


Figure12 : biomasse aérienne selon les différentes formules de fumure

Rendements

La valeur agronomique de la moyenne du rendement de V1 et de V2 observée sous effet de la formule de fumure CC+25 ont donné les plus grands rendements respectivement 7,87kg/ha et 8,18kg/ha en revanche sous effet de la formule de fumure CC+50, V1 (6,98 kg/ha) et V2(7,32kg/ha) ont donné les petits rendements.

Conclusion et recommandation

Au terme de cette étude sur le thème comparaison des différentes formules de fumure sur deux variétés de blé dans les conductions agro-climatique de katibougou. Les différentes formules de fumure mises en compétition ont eu un effet sur quelques paramètres observés.

- La formule CC n'a pas eu beaucoup d'effet sur les paramètres observés
- La formule CC+25N a eu beaucoup d'effet sur les deux variétés
- La formule CC+50N a eu quelques effets sur certains paramètres
- Il y a une différence significative sur cinq paramètres qui sont hauteur, diamètre au collet, 50% délai de floraison, profondeur d'enracinement et longueur d'épi.
- Les deux variétés ont eu leurs meilleurs sous effet de la formule de fumure CC+25N soit 7,45kg/ha pour V2 et 6,56kg/ha pour V1.
- La meilleure variété est tétra (V2) qui a donné le meilleur rendement sous effet de la formule de fumure CC+25N.

Nous suggérons que des moyens financiers et matériels soient mis à la disposition des chercheurs pour permettre d'obtenir des meilleurs résultats pour une amélioration de la production du blé vu son importance économique et sociale pour la population Malienne ;

Une reprise de l'étude pour confirmer les résultats obtenus ;

Référence

Africa fertilizer 2012. Manuel de Formation Statistique sur les engrais organiques en Afrique, 144pages.

Aidani H (2015) Effet des attaques de Capucin des grains (*Rhizopertha dominica*) sur les céréales stockées « Estimation sur la perte pondérale et le pouvoir germinatif Cas de blé dur dans la région de Tlemcen ». Mémoire de master en Agronomie Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen : 15p.

Ammar M (2014) Organisation de la chaîne logistique dans la filière céréales en Algérie états des lieux et perspective. Thèse de doctorat de CIHEAM Montpellier : p17-20.

Bozzini A (1988) Origin distribution and production of durum wheat in the world In Fabriani G, et Lintas C. (Ed) Durum chemistry and technology. AACC (Minnesota). Etats-Unis : p1-16.

CLAIRE CASNIN et al, 2015. Blé une plante pour étudier la biologie végétale au lycée, html 5.ens-lyon.fr site visite 24 mars 2019 à 20h

Debiton C (2010) Identification des critères du grain de blé (*Triticum aestivum L.*) Favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protéomique de lignées isogéniques waxy. Thèse de doctorat Présentée à l'Université Blaise Pascal pour l'obtention du grade de docteur d'université, ClermontFerrand France : p1-132.

Djelti H (2014) Etude de la qualité du blé tendre utilise en meunière algérienne. Mémoire de magistère présenté à l'Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen : 25-27p.

Doussinault G, Kaan F, Lecomte C, Monneveux P (1992) Les céréales à paille présentation générale In Gallais A, et Bannerot H Amélioration des espèces végétales cultivées. (Ed) INRA Paris : 13-21p.

Feillet P (2000) Le grain de blé : composition et utilisation. Paris, FRA : Editions INRA : 308p

FAOSTAT,2015, division de la statistique2015 ; site internet faostat visite le 20 décembre 2018 à 16h

FAOSTA-2018, division de la statistique 2018 ; site internet faostat visite le 20 décembre 2018 à 16h 55mn

INED, Institut National d'Etude Démographique (France), site internet visité le 23 septembre 2019

KONE,2014, Plan stratégique de développement de la filière blé au Mali et son plan d'action, 48p.

Lesage V (2011) Contribution à la validation fonctionnelle du gène majeur contrôlant la dureté/tendreté de l'albumen du grain de blé par l'étude de lignées quasi-isogéniques. Thèse de doctorat présenté à l'université Blaise Pascal pour l'obtention du grade de docteur d'université : p17-18.

LINNE ,1753 dans son species planterum cite par feuillet 2000

MINISTERE DE L'AGRICULTURE DU MALI 2012 VISITE le 15 mars 2019 à 16h

NIARELA.NET site visite le 20 septembre 2019 à 16

Soltner D (1998) Les grandes productions végétales céréales plantes sarclées prairies. Sainte-gemme-sur-Loire sciences et Techniques Agricoles In ADRAA.

Surget A, Barron C (2005) Histologie du grain de blé. Industrie des céréales 145 : 3-7.

<https://www.yara.fr>< fertisation<blé visite le 3 décembre 2019 à 16h 20mm

WANDLAW et al 1989 et CALDERINI et al 1999

Inventaire de l'entomofaune du domaine de l'Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) de Katibougou (Koulikoro – Mali)

Bakary Sagara¹, Serge Christian Bengue¹, Fanta Tounkara¹, Amoro Coulibaly¹, Abou Coulibaly¹

¹Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou

*Courriel de l'auteur de correspondance: bakarysagara@yahoo.fr

RÉSUMÉ: L'agriculture est un des piliers essentiels de l'économie du Mali et de plusieurs pays de la région africaine. L'érosion de la biodiversité constatée se caractérise par une réduction de la production agricole et une forte pression sur les ressources forestières. La protection cette biodiversité est liée à la conservation de l'entomofaune du fait de la place occupée par les insectes dans la nature. Pour la préservation de l'environnement du domaine, l'inventaire entomologique est effectué. Pour se faire nous avons installé des pièges (pièges attractifs aériens, pièges aériens d'interception multidirectionnelle, pièges à émergence, pièges Malaise) dans des placettes situées dans les formations végétales suivantes : Galeries forestières, Verger, Grandes parcelles des cultures, Potager. Les prélèvements ont été effectués tous les 5 jours. Pour les prospections actives, le filet fauchoir a été utilisé. Les Diptères sont les plus nombreux avec 781 individus capturés appartenant en 38 espèces. Ils sont présents dans toutes les formations végétales. Les ordres d'insectes les plus importants en termes d'effectif sont : les Coléoptères, Hyménoptères, Lépidoptères. Dans toutes les formations végétales, sont présents les ordres des Coléoptères, Diptères, Odonatoptères, Hémiptères, Hyménoptères, Lépidoptères, Orthoptères et Névroptères. La population de ces ordres est plus abondante au Verger (N=1018) que dans les autres formations végétales. C'est au Potager que le nombre d'individus capturés (N=210) est le plus faible. L'étude menée a mis en évidence une richesse taxonomique. Il est à noter une diversité d'espèces d'insectes qui sont capturées uniquement que dans certaines formations végétales.

Mots-clés: Inventaire entomologique, Biodiversité, IPR/IFRA, milieu naturel, milieu cultivé

1. INTRODUCTION

Le déclin de la biodiversité est un phénomène constaté mondialement et étudié [1]. Au Mali l'agriculture est le pilier de l'économie mais ses performances sont faibles entraînant un déficit alimentaire chronique. En 2012, le Mali disposait d'un réseau de 21 aires protégées de plus de huit millions d'hectares [2]. La dégradation des ressources naturelles constatée se caractérise par une réduction du potentiel de production agricole et une forte pression sur les ressources forestières (qui couvrent 17% du territoire national). Le patrimoine riche et varié (pas moins de 136 espèces de mammifères, 640 espèces d'oiseaux, 143 espèces de poissons et 1739 espèces de végétaux) est menacé de disparition à cause essentiellement de l'homme (défrichage, surpâturage, braconnage, pêche illicite, feux de brousse, lutte par des pesticides chimiques, activités extractives, accroissement démographique) et déficits pluviométriques [3],[4],[5].

La protection de la biodiversité est liée à la conservation de l'entomofaune du fait que la classe des insectes représente 2/3 des espèces animales de la planète. Actuellement, 1 million d'espèces sont décrites sur 5,5 millions d'espèces estimées réparties en 24 ordres [6], [7]. Les insectes participent à de

nombreuses fonctions écologiques par le fait qu'ils occupent tous les types d'habitats terrestres et aquatiques [8], [9].

Les principaux ordres d'insectes sont : les Coléoptères, Lépidoptères, Hémiptères, Diptères. Les Coléoptères forment le plus grand ordre d'insectes. Leur diversité et leurs modes alimentaires font que les Coléoptères ont une influence sur l'écosystème et permettent d'évaluer le niveau de conservation de la biodiversité. L'ordre des orthoptères du fait de sa grande sensibilité aux changements de la structure de la végétation (hauteur, stratification) et de l'humidité est aussi un bon indicateur [10].

L'observation des Hémiptères et Diptères devrait contribuer à améliorer la lutte contre ces ravageurs. Les Hémiptères sont des insectes ravageurs des plantes cultivées et spontanées [11], [12]. Ils constituent une menace pour la biodiversité par leur importance numérique. Les mouches des fruits (Diptères) sont des ravageurs des cultures [13] et constituent une contrainte majeure pour la production et la commercialisation des fruits dans les pays d'Afrique tropicale et subtropicale [14]. Il est par conséquent nécessaire de connaître les espèces présentes et leur dynamique de population avant d'envisager des méthodes de protection.

Les Lépidoptères, avec leur grande diversité et leurs exigences écologiques variées, constituent une composante essentielle pour mesurer la qualité de la biodiversité. C'est l'un des ordres d'insectes les plus nuisibles aux plantes cultivées, aux forêts et aux denrées stockées et 50% des insectes ravageurs sont des lépidoptères [15].

Malgré la grande importance du domaine de Katibougou, il y a très peu de connaissances sur l'état de la biodiversité. L'insuffisance de données pertinentes sur l'état de l'environnement du domaine de Katibougou rend difficile les activités de conservation et de valorisation en faveur du développement durable. Des études scientifiques sur la biodiversité entomologique du domaine de l'Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) permettent la mise au point d'une base de données. Celle-ci est un outil d'information indispensable pour la préservation et la gestion de l'environnement du domaine.

II MATERIEL ET METHODES

2.1 Milieu d'étude

L'étude s'est déroulée dans le domaine de l'Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou (IPR/IFRA). Ses coordonnées géographiques sont les suivantes: 12°55' Nord; 7°33' Ouest, 326 m d'altitude. Il couvre 380 ha et est situé à 3,5 km de la ville de Koulikoro et à 70km de Bamako (Mali).

L'IPR/IFRA de Katibougou est l'une des premières institutions de formation des agents du développement rural de la sous-région ouest africaine. Il est situé dans la commune urbaine de Koulikoro et couvre une superficie de 380 ha.

Les superficies allouées à chaque catégorie d'utilisation des sols du domaine de l'IPR/IFRA sont les suivantes: terres exploitées (cultures céréalières sous couvert arboré, cultures céréalières et jachères récentes, maraîchage, plantations forestières et verger) 53,59%; terrains bâtis (administration et enseignement, logement rattaché à l'IPR/IFRA, village) 12,60% ; autres terrains (terrain non cultivé, pisciculture) 33,81% [16].

2.2 Zones prospectées

L'inventaire de l'entomofaune a été réalisé dans les formations végétales suivantes : Galeries forestières, Verger, Grandes parcelles des cultures vivrières et industrielles, Potager.

Les Galeries forestières sont constituées de peuplements naturels (galeries forestières, régénérations naturelles), de peuplements artificiels (*Bombax costatum*, *Cassia siamea*, *Pterocarpus lucens*, *Acacia ataxacanta*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Cordyla pinnata*, etc) [17] et les parcs agroforestiers (13 familles introduites réparties entre les Légumineuses, les Césalpiniciées et les Fabacées) [18].

Le Verger renferme huit espèces/variétés d'agrumes [19] et des manguiers

Dans les Grandes parcelles de cultures, ce sont le sorgho, le mil, le maïs, la pomme de terre, le coton qui sont majoritairement cultivés.

Les cultures maraichères (laitue, tomate, gombo, chou, aubergine) sont pratiquées au Potager.

2.3 Moyens matériels

Le matériel de capture, de conservation et d'identification est composé comme suit: Filet faucheur, Piège aérien d'interception, Piège à émergences, Piège Malaise, Piège à Appât, piège lumineux CDC, piège jaune à glue, piège à UV, pots de capture, drap blanc, aérosol d'insecticide, GPS, stéréomicroscope, papier wattman, boîte de pétri, tube 1,5ml, silicagel, éthanol, chloroforme, kit de secours, manuels d'aide à l'identification.

2.4 Inventaire de l'entomofaune

La méthodologie a consisté à collecter le plus largement possible l'entomofaune par des dispositifs de piégeage appropriés pour chaque ordre.

Les prospections actives se sont déroulées dans les différentes formations végétales. Dans des conditions météorologiques favorables, 2 transects de 300 m avec le filet fauchoir ont été parcourus entre 06 heures et 7 heures du matin pendant 5 jours entre juillet et septembre [20].

Les insectes nocturnes ont été attirés par attraction lumineuse dans chaque type de formation.

Les dispositifs de collecte automatique ont été disposés dans 3 placettes de 50x25 m avec une équidistance de 250m pour chaque type de formation végétale. Les prélèvements ont été effectués tous les 5 jours de juillet à octobre 2019. Les pièges suivants ont été utilisés :

- Les pièges attractifs aériens pour inventorier principalement les Coléoptères, les Hémiptères ;
- Les pièges aériens d'interception multidirectionnelle (PIMUL) pour inventorier principalement les Coléoptères, les Lépidoptères, les Hémiptères;
- Les pièges à émergence pour inventorier principalement les Coléoptères ;
- Les pièges Malaise pour inventorier principalement les Lépidoptères, les Hémiptères.

2.5 Identification des espèces capturées

Elle a été réalisée après chaque capture et effectuée au Laboratoire. Les spécimens collectés ont été déterminés en laboratoire selon le processus suivant : tri et conditionnement des insectes, détermination au rang de l'espèce et montage en collection de certains spécimens pour alimenter la collection.

2.6 Traitement et analyse des données

Les insectes capturés ont été triés suivant les ordres et familles et puis comptés.

L'abondance relative qui est le rapport du nombre d'individus capturés pour une espèce, famille, ou ordre d'insectes donnés sur l'ensemble de tous les insectes capturés pendant une période a été déterminée.

III. RESULTATS

3.1 Diversité entomologique du domaine de l'IPR/IFRA de 2019 à 2020

Au total, 215 espèces d'insectes appartenant à 72 familles réparties dans 13 ordres ont été capturées dans les différentes formations végétales du domaine de l'Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou (IPR/IFRA). Les Hyménoptères sont les plus diversifiés en termes d'espèces avec 58 espèces réparties dans 11 familles (Tableau 1). Les Diptères sont les plus nombreux avec un effectif de 781 individus capturés appartenant en 38 espèces réparties dans 15 familles. Ils représentent 37,93% de tous les insectes capturés (Figure 1). Les Dermaptères, Ephéméroptères et Trichoptères sont les ordres les moins représentatifs dans le domaine.

Tableau 1 : Nombre d'espèces d'insectes capturées dans le domaine en 2019

Ordre	Nombre de familles	Nombre d'espèces	Effectifs
Orthoptera	4	34	111
Coleoptera	15	36	444
Lepidoptera	7	22	264
Diptera	15	38	781
Hemiptera	5	7	40
Hymenoptera	11	58	296
Névroptera	3	5	38
Mecoptera	1	1	15
Dictyoptera	3	4	31
Dermaptera	1	1	7
Odonatoptera	5	7	28
Ephemeroptera	1	1	1
Trichoptera	1	1	3
13	72	215	2059

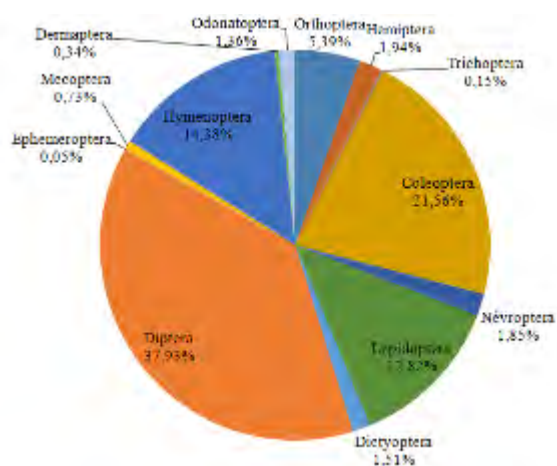


Figure 1. Répartition des insectes capturés en fonction des ordres dans le domaine de l'IPR/IFRA de Katibougou en 2019

3.2 Insectes capturés dans les différentes formations végétales

Les ordres des Coléoptères, Diptères, Odonatoptères, Hémiptères, Hyménoptères, Lépidoptères, Orthoptères, Névroptères sont présents dans toutes les formations végétales. La population de ces ordres d'insectes est plus abondante au Verger que dans les autres formations végétales (Tableau 2). Plus de la moitié des insectes des ordres des Lépidoptères (65,15%), Coléoptères (52,03%), Orthoptères (50,45%) et Diptères (50,06%) sont capturés au Verger. Les Dictyoptères sont absents dans les Grandes parcelles et au Potager. Les Ephéméroptères sont présents uniquement dans les Galeries forestières et les Mécoptères dans les Grandes parcelles. L'environnement affecte la répartition des ordres des insectes.

En nombre d'individus capturés, l'entomofaune du Verger est la plus riche (N=1018, P=49,44%). C'est au Potager que le nombre d'individus capturés est le plus faible (N=210, P=10,20%).

Tableau 2 : Richesse spécifique des ordres d'insectes dans le domaine en 2019

Ordres	Potager	Galerie forestière	Grandes Parcelles	Verger	Total
Dictyoptera	N 0	8	0	23	31
	% 0,00	25,81	0,00	74,19	100,00
Coleoptera	N 63	105	45	231	444
	% 14,19	23,65	10,14	52,03	100,00
Diptera	N 51	280	59	391	781
	% 6,53	35,85	7,55	50,06	100,00
Odonatoptera	N 5	4	7	12	28
	% 17,86	14,29	25,00	42,86	100,00
Ephemeroptera	N 0	1	0	0	1
	% 0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
Hemiptera	N 14	6	13	7	40
	% 35,00	15,00	32,50	17,50	100,00
Hymenoptera	N 25	117	31	123	296
	% 8,45	39,53	10,47	41,55	100,00
Lepidoptera	N 15	38	39	172	264
	% 5,68	14,39	14,77	65,15	100,00
Mecoptera	N 0	0	15	0	15
	% 0,00	0,00	100,00	0,00	100,00
Orthoptera	N 21	18	16	56	111
	% 18,92	16,22	14,41	50,45	100,00
Névroptera	N 14	9	12	3	38
	% 36,84	23,68	31,58	7,89	100,00
Dermaptera	N 2	3	2	0	7
	% 28,57	42,86	28,57	0,00	100,00
Trichoptera	N 0	2	1	0	3
	% 0,00	66,67	33,33	0,00	100,00

Les 3 espèces d'insectes identifiées (*Catantops sp*, *Catantops stramineus*, *Zonocerus variegatus*) de l'ordre des Orthoptères et les 4 espèces (*Musca domestica*, *Musca autumnalis*, *Sarcophaga carnaria*, *Theaira nigripes*) de l'ordre des Diptères sont

présentes dans toutes les formations végétales (Tableau 3).

C'est au niveau du potager (64) et des Grandes parcelles (63) que les nombres des insectes identifiés sont les plus élevés.

Tableau 3 : Espèces d'insectes identifiées dans les différentes formations végétales en 2019

Ordre	Espèce	Verger	Potager	Grandes Parcelles	Galeri es Forestières
Orthoptera	<i>Oxya hyla</i>	×	×		
	<i>Hieroglyphus daganensis</i>			×	×
	<i>Kraussaria angulifera</i>			×	
	<i>Humbe tenuicornis</i>		×		
	<i>Acrida bicolor</i>		×		×
	<i>Acrida turrita</i>	×	×		
	<i>Acrida Sp</i>		×		×
	<i>Oxycatantops spissus</i>			×	
	<i>Harpezocatantops stylifer</i>	×	×	×	
	<i>Oedaleus nigriensis</i>	×			×
	<i>Sherifuria haningtoni</i>		×	×	
	<i>Acanthacris ruficornis</i>				×
	<i>Catantops sp</i>	×	×	×	×
	<i>Zacompsa festa</i>	×	×	×	
	<i>Catantops stramineus</i>	×	×	×	×
	<i>Kraussella amabile</i>	×	×		
	<i>Trilophidia repleta</i>	×	×		
	<i>Heteracris leani</i>		×		
	<i>Tylotropidius patagiatus</i>				×
	<i>Acridoderes strenuus</i>				×
	<i>Acrotylus blondeli</i>	×	×	×	
	<i>Acrotylus patruelis</i>	×	×	×	
	<i>Tylotropidius gracilipes</i>				×
	<i>Diabolocatantops axillaris</i>	×		×	
	<i>Morphacris fasciata</i>		×	×	
	<i>Heteropternis thoracica</i>		×		
	<i>Atractomorpha acutipennis</i>		×		
	<i>Zonocerus variegatus</i>	×	×	×	×
	<i>Chrotogonus senegalensis</i>		×		
	<i>Pyrgomorpha sp</i>		×	×	
<i>Tettigonia viridissima</i>	×			×	
<i>Microcentrum sp</i>	×				
<i>Phaneroptera nana</i>	×				
Coleoptera	<i>Henosepilachna elaterii</i>		×	×	
	<i>Anatis ocellata</i>		×	×	
	<i>Exochomus nigromaculatus</i>		×	×	
	<i>Paederus littoralis</i>		×	×	
	<i>Pachnoda cordata</i>		×	×	
	<i>Mordella sp</i>		×		
	<i>Phylan sp</i>				×
	<i>Trichodes sp</i>		×		
Lepidoptera	<i>Mylabris sp</i>		×		
	<i>Acherontia atropos</i>		×	×	
	<i>Basiothia charis</i>		×	×	
	<i>Cynthia cardui</i>	×	×		
	<i>Anomis flava</i>			×	

	<i>Spodoptera littoralis</i>			x	
	<i>Spodoptera exampta</i>			x	
	<i>Earias sp</i>			x	
	<i>Diparopsis watersi</i>			x	
	<i>Cirina butyrospermi</i>				x
	<i>Hypercompe sp</i>				x
	<i>Syllepte derogata</i>			x	
Diptera	<i>Musca domestica</i>	x	x	x	x
	<i>Musca autumnalis</i>	x	x	x	x
	<i>Stomoxys calcitrans</i>			x	x
	<i>Polietes meridionalis</i>		x	x	x
	<i>Neomyia viridescens</i>		x	x	
	<i>Helina impuncta</i>	x		x	x
	<i>Helina sp</i>	x		x	x
	<i>Sarcophaga carnaria</i>	x	x	x	x
	<i>Macronychia striginervis</i>	x	x		
	<i>Macronychia sp</i>	x	x		
	<i>Drosophila melanogaster</i>	x	x		x
	<i>Aedes albopictus</i>				x
	<i>Anophela gambiense</i>			x	x
	<i>Asilus crabroniformis</i>	x		x	x
	<i>Tabanus bromius</i>				x
	<i>Euleia heraclei</i>		x	x	x
	<i>Ceratitis capitata</i>		x		
	<i>Hermetia illucens</i>			x	
	<i>Fannia lustrator</i>	x	x	x	
	<i>Siphona sp</i>	x		x	x
	<i>Thelaira nigripes</i>	x	x	x	x
	<i>Mintho rufiventris</i>	x		x	x
<i>Stevenia sp</i>			x	x	
<i>Rhinophora sp</i>			x	x	
Hemiptera	<i>Dysdercus voelkeri</i>	x	x	x	
	<i>Probergrothius sexpunctatus</i>	x	x		
	<i>Empoasca fascialis</i>		x	x	
	<i>Aphis sp</i>		x	x	
	<i>Aspaviaarmigera</i>	x	x	x	
	<i>Bemisia tabaci</i>		x	x	
Hymenoptera	<i>Apis sp</i>	x	x	x	x
	<i>Xylocopa pubescens</i>		x		
	<i>Xylocopa violacea</i>		x		
	<i>Sceliphron spirifex</i>		x		x
	<i>Messor capitatus</i>		x		x
	<i>Cremonops desertor</i>		x	x	x
	<i>Arge cyanocrocea</i>			x	
Nevroptera	<i>Distoleon tetragrammicus</i>				x
	<i>Macronemurus appendiculatus</i>		x	x	
	<i>Palpares libelluloides</i>			x	x
Dictyoptera	<i>Mantis religiosa</i>	x	x		
	<i>Blattella asahinai</i>				x
Dermaptera	<i>Forficula senegalensis</i>			x	
Odonatoptera	<i>Crocothemis erythraea</i>	x	x	x	
	<i>Libellula fulva</i>	x	x	x	
	<i>Sympetrum fonscolombii</i>	x	x	x	
	<i>Cordulegaster oltonii</i>	x	x	x	
	<i>Onychogomphus forcipatus</i>	x	x	x	
	<i>Ischnura elegans</i>			x	x

× :	<i>Platycnemis sp</i>	×	×	×	
lieu de capture (présence de l'insecte identifié dans la formation végétale)	Nombre Espèces identifiées	41	64	63	41

IV. DISCUSSIONS

Dans le domaine de Katibougou, 215 espèces d'insectes sont capturés. Ce qui montre la préservation de la diversité entomologique.

Les Diptères constituent 37,93% des insectes capturés et les Hyménoptères (14,38%) sont un indice important de la préservation de l'environnement. Car les diptères participent à la pollinisation des petites fleurs délaissées par les pollinisateurs habituels et certaines larves produisent une quantité importante d'humus qui est un engrais naturel et biologique [21]. Les hyménoptères et diptères sont les principaux ordres comprenant les insectes utiles (parasitoïdes) capables de réguler la dynamique des populations d'insectes herbivores [22]. Près de la moitié des espèces d'insectes sont des coléoptères [23], [24] alors que dans le domaine de l'IPR/IFRA de Katibougou, les coléoptères ne représentent que 21,56% des insectes capturés. Ce qui justifie une gestion conservatoire du domaine de Katibougou. Car les coléoptères jouent une grande fonction écologique dans l'écosystème forestier par la dégradation de la biomasse ligneuse. Ce sont les descripteurs écologiques de l'état de conservation des forêts [25]. Les Lépidoptères sont répartis en 22 espèces et constituent 12,82% des insectes capturés. Ce qui est en relation avec la diversité des peuplements de Lépidoptère qui est en relation directe avec le monde végétal. Ce sont les indicateurs des changements climatiques [26]. C'est au Verger que 50,45% des orthoptères sont capturés. Ceci s'explique par le fait que ce sont les marqueurs écologiques de la structure physique des milieux qu'ils occupent [27]. Par la position du domaine, le long du fleuve Niger, les Odonatoptères ne représentent que 1,36% des insectes capturés. Alors qu'ils sont considérés comme un indice sûr de la richesse faunique des eaux douces [28] et ce sont des prédateurs actifs et également des proies.

Le plus grand nombre d'insectes est capturé au Verger car l'environnement sous couverture végétale constitue un refuge propice aux insectes et la couverture permanente du sol est favorable au développement des insectes [29].

Dans le domaine de Katibougou, le nombre d'espèces d'insectes du Potager (64) et des Grandes parcelles (63) est plus riche que celle du Verger (41) et des Galeries Forestières (41). Alors que la biodiversité des milieux naturels est plus riche en raison de la plus grande diversité végétale que celle des milieux cultivés. La classification récente des insectes d'Afrique et d'Amérique tropicale (1989) a recensé 32 ordres d'insectes alors que la classification traditionnelle était de 36 ordres [30]. Les formations

végétales ont une influence sur la composition des peuplements des espèces d'insectes. Certaines espèces dont l'identification serait discutable n'ont pas été prises en compte au moment de l'établissement de la liste des espèces capturées.

V. CONCLUSION

Ce travail premier en son genre visant à établir l'inventaire de l'entomofaune du domaine de l'IPR/IFRA de Katibougou a été l'occasion d'apporter un éclairage nouveau sur la diversité d'insectes non recensés jusqu'à présent.

L'étude menée a mis en évidence une richesse taxonomique quantitative importante. Il est à noter une diversité d'espèces d'insectes qui sont capturées uniquement que dans certaines formations végétales pourtant très proches les unes des autres. Donc la richesse en espèces varie d'une formation végétale à une autre. En plus ce travail met en place les bases des solutions futures relatives au contrôle des populations d'insectes nuisibles comme des auxiliaires dans l'agriculture du domaine.

Il est rare de rencontrer une telle biodiversité entomologique sur un site 380 ha. Cette spécificité fait du domaine de l'Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou (IPR/IFRA) un site à protéger.

REMERCIEMENTS

Cette étude a bénéficié des apports financiers par le Projet canadien de formation agricole pour la sécurité alimentaire au Mali-FASAM.

REFERENCES

- [1] F. Mesléard and D. Alard, "Une brève histoire de la conservation," *Sciences de la Conservation*, pp. 69-82., 2014.
- [2] M. H. Maïga, "Aires Protégées Résilientes au Changement Climatique, PARCC Afrique de l'Ouest," UNEPWCMC technical report, Mali, Rapport de collecte des données nationales, 2012.
- [3] P. Warshall, "Evaluation de la diversité biologique du Mali," Agence pour le Développement International Bureau Afrique - Afrique – Projet de soutien à la gestion des ressources naturelle, Projet N°698-0467, 1989.
- [4] B. Lamarche, J. C. Arnaud, and A. Meunier, *Faune – in Atlas du Mali*, J A. Pigeonnière A.L. et Arnaud J.C, 2001.
- [5] B. Niagaté and B. Clark, *Mammifères – reptiles et oiseaux du Mali*. 2004.
- [6] N. E. Stork, "Biodiversity in Encyclopedia of Insects," *Elsevier*, pp. 75–80, 2009.

- [7] N. E. Stork, J. McBroom, C. Gely, and A. J. Hamilton, "New approaches narrow global species estimates for beetles, insects, and terrestrial arthropods.," *National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 75, no. 112, pp. 19–23, 2015.
- [8] S. R. Kellert, "Values and perception of invertebrates," *Conservation Biology*, no. 7, pp. 845–855, 1993.
- [9] A. van Huis, "The Global Impact of insects," Wageningen University (Ed.), Report, 2014.
- [10] S. Konaté and D. Kampmann, *Atlas de la Biodiversité de l'Afrique de L'Ouest*, vol. Tome III. Côte d'Ivoire/ Abidjan et Frankfurt/Main, 2010.
- [11] J. Appert and J. Deuse, *Insectes nuisibles aux cultures vivrières et maraîchères*, Le Technicien d'agriculture tropicale, 8:n°1., vol. 1. Paris: Maisonneuve et Larose, 1988.
- [12] R. L. Jacobs, "Naturalistic inquiry and qualitative methods," *Performance + Instruction*, vol. 24, no. 10, pp. 25–25, 1985, doi: <https://doi.org/10.1002/pfi.4150241014>.
- [13] A. Norrbom, "Host plant database for Anastrepha and Toxotrypana (Diptera: Tephritidae: Toxotrypanini)," *Diptera Data Dissemination Disk*, vol. 2, 2004.
- [14] G. Mondjonnesso, "Contribution à la connaissance des mouches des fruits (Diptera: Tephritidae) et de leurs parasitoïdes au sud du Togo," Thèse de doctorat: Biologie de développement. Entomologie appliquée, Université de Lomé, Lomé, 2015.
- [15] M. Martinez, "Importance économique et agronomique," Ephytia INRA Science & Impact., 2013. Accessed: Feb. 22, 2018. [Online]. Available: <http://ephytia.inra.fr/C/7557/Insectes-Importance-economique-et-agronomique>.
- [16] M. Desrosiers, "Cartographie numérique et systèmes d'information géographique Cartographie numérique et systèmes d'information géographique," IPR/IFRA de Katibougou – U. Laval, Rapport de stage, 2010.
- [17] M. Magassouba, H. Diallo, and V. N'Djoumpo, "Inventaire de la plantation forestière de Gmelina arborera de l'IPR /IFRA," Rapport d'étude, 2018.
- [18] K. Tounkara, "Contribution à l'étude des essences forestières de l'arboretum de l'IPR/IFRA de Katibougou," IPR/IFRA, Katibougou, Rapport de fin d'Etudes, 1995.
- [19] A. Tangara, "Détermination de la dose optimale de cendre de coque de graines de coton et de l'âge optimum des plants de Spilanthès oleracea JACQ au moment du repiquage sur le rendement en capsules," IPR/IFRA de Katibougou, Katibougou, Mémoire de fin d'études, 2000.
- [20] D. Demerges and P. Bachelard, "Proposition de mise en place d'une méthode de suivi des milieux ouverts par les Rhopalocères et Zygaenidae dans les réserves naturelles," *Réserves Naturelles de France*, 2002.
- [21] R. Barbault, "La conservation et la gestion de la biodiversité," in *un défi pour l'interdisciplinarité dans L'interdisciplinarité dans les sciences de la vie.*, Quae., JM. Legay, 2006, pp. 151–169.
- [22] G. Boivin, "Evolution et diversité des insectes parasitoïdes," *Antennae*, no. Numéro spécial, pp. 6–12, 1996.
- [23] E. O. Wilson, *Biodiversity*. Washington,: National Academic Press, 1988.
- [24] M. Martinez and B. Gauvrit, "Combien y a-t-il d'espèces d'Insectes en France?," *Bull. Soc. Ent. de France*, vol. 102, no. 4, pp. 319-332., 1997.
- [25] F. Ramade, "Qu'entend-t-on par Biodiversité et quels sont les problématiques et les problèmes inhérents à sa conservation?," *Bull. Soc. Ent. de France*, vol. 99, no. numéro spécial, pp. 7–18, 1994.
- [26] C. Parmesan, N. Ryrholm, C. Stefanescu, J. K. Hill, C. D. Thomas, H. Descimon, B. Huntley, L. Kaila, J. Kullberg, T. Tammaru, W. J. Tennent, J. A. Thomas & M. Warren, "Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming," *Nature*, vol. 399, no. 6736, pp. 579–583, Jun. 1999, doi: 10.1038/21181.
- [27] S. Bence, "Étude des insectes bio-indicateurs peuplant un agrosystème biologique sur la commune de Correns," Conservatoire d'espaces naturels de Provence-Alpes-Côte d'Azur, Sisteron, 2015.
- [28] M. J. Samways, *Dragonflies and damselflies of South Africa*, Pensoft Publishers. Sofia, 2008.
- [29] C. Razafindrakoto, H. Rakotoarisoa, A. Razafindrakotomamonjy, A. Ratnadass, and B. Vercambre, "Lutte biologique intégrée contre des insectes terricoles, *Heteronychus spp* à Madagascar, par un champignon entomopathogène sur riz pluvial en semis direct sous couverture végétale," 2010.
- [30] G. Delvare and H.-P. Aberlenc, "Les insectes d'Afrique et d'Amérique tropicale. Clés pour la reconnaissance des familles," Laboratoire Faunistique, Montpellier., CIRAD-GERDAT, 1989.

Effet de la provenance des semences sur les paramètres de germination et de croissance d'*Anacardium occidentale* L en pépinière dans les conditions écologiques de la station de l'IPR/IFRA de Katibougou

Siriki Fané^{1*}, Elhadj Daouda TOGOLA¹, Mdibo Sogoba², Moussa Karembe³, Fadiala Dembélé⁴
^{1,2,4}Département du Génie Rural et des Eaux et Forêts de l'IPR/IFRA de Katibougou, Koulikoro, Mali
³Département de Biologie, Laboratoire d'Ecologie Tropicale, USTTB, Bamako, Mali
 *Corresponding author: faneski08@gmail.com

RÉSUMÉ: La présente étude est une contribution à la promotion de la culture d'Anacardier à travers l'amélioration des connaissances sur les techniques de production des plants. Elle a permis de produire des plants de différentes provenances de *Anacardium occidentale* L en pépinière, déterminer l'effet de la provenance des semences sur les paramètres de germination et enfin évaluer l'effet de la provenance des semences sur les paramètres de croissance. Pour la collecte des données, des fiches techniques ont été élaborées. Les résultats de l'analyse montrent que la variété 3 (V3) a enregistré un taux de germination plus élevé (89%) que les autres variétés, la variété 1 (V1) a enregistré le plus grand diamètre par rapport aux autres (V2 ; V3 et V4) avec une moyenne de 0,72cm. En ce qui concerne la hauteur des plantules, la variété 4 (V4) a atteint la plus grande hauteur, soit en moyenne 24cm. Les résultats de l'analyse montrent aussi que pour l'adaptation aux conditions de production dans la zone d'étude la variété 2 (V2) est la plus performante avec un taux de survie de (87%). Pour les paramètres tels que : le temps de latence, l'échelonnement et le nombre de folioles n'ont pas donné de différence notable, avec des déroulements plus ou moins identiques. Pour maîtriser les techniques de production afin de mieux conseiller les paysans, il serait souhaitable de ce test avec d'autres variétés sur d'autres types de sols avec essais des prétraitements.

Mots clés: Variété, Production, *Anacardium occidentale*, Paramètre, Caractérisation.

1. INTRODUCTION

Le Mali recèle de grandes potentialités agro-sylvopastorales. Le potentiel productif global est estimé à 46,6 millions d'hectares, dont 12,2 millions de terres agricoles, 30 millions de pâturages, 3,3 millions de réserves de faune et 1,1 million de réserves forestières (Touré, 2010). Il y a de vastes surfaces cultivables et inondables (2,2 millions d'hectares), des ressources importantes en eau (2600 km de fleuve). La diversité biologique de ressources forestières et fauniques est considérable et dispose d'un cheptel important et diversifié (7,1 millions de bovins, 19 millions d'ovins et de caprins, 0,6 million de camelins, 25 millions de volailles) vivant dans un écosystème riche et dynamique (LOA, 2006).

Ainsi, les différents parcs agroforestiers représentent 39% de la superficie du pays (PIRL, 1990) et contribuent à 5.1% au PIB national avec un potentiel d'exportation de 85 500 tonnes en 2015 (Fané et al, 2018 ; World Bank, 2015 ; CNPM, 2015). Dans ces parcs, l'anacardier occupe une place de choix (Wologuème, 2020). Il est même comptabilisé parmi les Produits forestiers non ligneux (PFNL) en raison de sa valeur socioéconomique et écologique. Les parcs ont été inventoriés afin d'évaluer le capital

ligneux et de planifier leur aménagement pour une gestion durable de ce patrimoine (PIRL, 1990).

Au Mali, l'anacardier est présent depuis au moins les années 1960 où les efforts de vulgarisation ont surtout visé le reboisement, sans prendre en compte la qualité et la valeur économique de la noix. C'est pourquoi, jusqu'à présent, notre pays est considéré comme un producteur marginal de noix de cajou, quand bien même l'anacarde est devenu la deuxième culture de rente dans le sud du Mali après le coton et les mangues dans l'Ouest (PDA, 2013). La culture de l'anacarde a un impact direct sur les revenus et les conditions de vie des populations de la zone. Elle permet une augmentation significative de la production et des revenus entraînant une nette amélioration des conditions de vie des producteurs, commerçants et transformateurs. Elle contribue aussi à la souveraineté et la sécurité alimentaire, car ses revenus facilitent : l'obtention des engrais et pesticides pour la production des cultures vivrières (céréales).

Classé comme sixième pays producteur-exportateur mondial de la noix de cajou après l'Inde, la Côte d'Ivoire, le Vietnam, la Chine, et la Guinée Bissau, le Mali pourrait améliorer ce rang au regard des vastes

superficiers cultivables pour l'anacarde. (Infosept, 2020).

La filière anacarde a été priorisée par le gouvernement du Mali comme une filière porteuse par le fait qu'elle constitue une source importante de revenus et d'emplois pour le secteur agricole. Elle est inscrite dans plusieurs documents de politique agricole comme la politique de développement agricole (PDA, 2013) et elle est mentionnée comme la principale filière de la région de Sikasso dans le programme national d'investissement du secteur agricole (PNISA, 2015-2025).

À titre d'exemple pour les producteurs, la vente des noix en 2017, pour une production estimée à 50 000T, a un prix moyen de 650FCFA/kg. Les revenus nets sur la vente de la noix brute étaient estimés à 32 500 000 000 FCFA. (PAFAM, 2019)

Selon les scientifiques de cette structure de recherche de renommé international, la production du Mali pourrait atteindre 200 000T de noix de cajou dans les années à venir. (Infosept, 2020)

C'est dans ce cadre que s'inscrit le projet d'appui à la filière anacarde au Mali (PAFAM), cofinancé par l'Union européenne et par l'agence espagnole de coopération internationale au développement (AECID) d'un montant de 14 000 000 EUR, il a une durée de 4ans (octobre 2016-octobre 2020).

Le projet est localisé dans les trois régions du Sud et Sud-ouest du Mali : Sikasso, Koulikoro et Kayes et concentre ses efforts dans 39 communes et 14 cercles, présentant le meilleur potentiel pour le développement de l'anacarde.

Enfin, il faut signaler que la chaîne de valeur de la noix de l'anacarde apporte une forte opportunité d'emploi agricole pour les jeunes des villages ruraux et les femmes, ainsi qu'une source très opportune des revenus, importante pour les producteurs au début de période de la soudure agricole (avril-juin).

Néanmoins le Mali fait face à de nombreux problèmes structurels et conjoncturels, tels que la pauvreté extrême, une démographie galopante, les conflits internes et régionaux, les faiblesses institutionnelles, sociales et économiques, un stress environnemental et des crises alimentaires récurrentes.

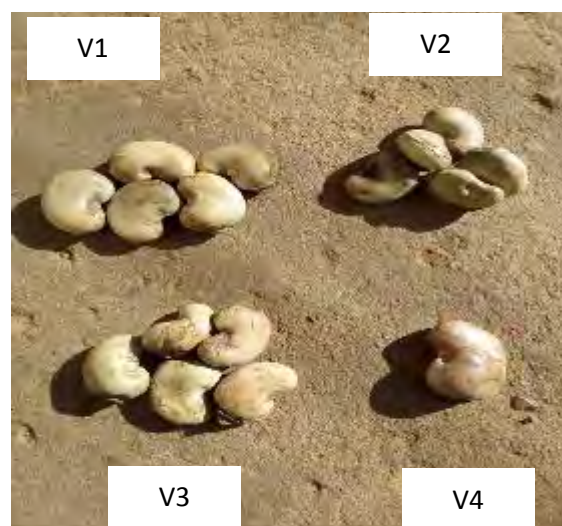
Cette situation est exacerbée par un manque d'opportunité économique et d'emploi des populations, ce qui aggrave la situation de la pauvreté existante et donne comme résultat une forte vulnérabilité des populations à l'insécurité alimentaire et nutritionnelle tout en favorisant l'exode rural.

2. MATERIEL ET METHODES

La méthode de recherche pour ce travail a été fondamentalement basée sur les travaux de pépinière. Le matériel végétal de production était constitué des semences d'*Anacardium occidentale* provenant de différentes localités.

Tableau 1: Quelques caractéristiques biophysiques des semences

Espèce	Variétés	Pomme		Semence			
		Apparence	Couleur	Poids moyen (kg)	Longueur moyenne (cm)	Largeur moyenne (cm)	Provenance
<i>Anacardium occidentale</i> L.	V1	Grosse	Jaune	0,39	1	2	RCI
	V2	Petite	Orange	0,28	2	1	Yorobougou
	V3	Moyenne	Rouge	0,33	2,5	1,5	Yorobougou
	V4	Grosse	Boisné	0,45	4	3	Orléans-Bougou



(Source : TOGOLA. D, 2020)

Photo 1 : illustration de graines des variétés

2.1 Zone d'étude

L'expérience a eu lieu dans la pépinière du centre des ressources agroforestières de l'IPR/IFRA de Katibougou. Il est localisé entre 12° 55' de latitude Nord ; 7° 33' de longitude Ouest et à 326 m d'altitude par rapport au niveau de la mer. Il est limité au nord-est par une falaise de grès d'environ 100 m de hauteur ; au sud par le marigot "Tiemantièko" et au sud-ouest par le fleuve Niger. La zone bioclimatique de Katibougou est du type soudano-sahélien. Le climat est caractérisé par une longue saison sèche allant d'octobre à fin mai (7 à 8 mois) et une saison pluvieuse de juin à début octobre (4-5 mois). La pluviométrie annuelle est faible au début et atteint son maximum en août. Le cumul annuel des pluviométries oscillent entre 700 et 900mm. La saison sèche est subdivisée en deux périodes : (i). une période chaude dont la température moyenne varie

entre 30 et 33°C (ii). une période fraîche qui s'étend sur 4 mois (novembre à février) au cours de laquelle la température moyenne varie entre 21°C en décembre et 26°C en février. Le principal cours d'eau est le fleuve Niger qui limite le domaine de l'IPR/IFRA de Katibougou au sud-est sur environ 3 km de sa course globale de 1700 km sur le territoire malien. Le domaine de l'institut est traversé par un marigot appelé « Tiemantièko » qui a un régime hydrique temporaire (plein d'eau en hivernage et sec pendant la saison sèche). La végétation est caractérisée par une savane arborée et arbustive par endroit. A cela il faut ajouter la cohabitation non négligeable des graminées annuelles. Cette végétation a une composition floristique riche et variée. Les espèces ligneuses rencontrées dans la zone d'étude sont représentées par les familles suivantes : Sapotacée (*Butyrospermum paradoxum...*), Méliacée (*khaya sénégalis...*), Bombacacée (*Adansonia digitata...*), Combrétacée (Combrétaceae : *Anogeissus leiocarpus*, *terminalia* sp. *Combretum nigricans*), Mimosacée (*Parkia biglobosa...*), Apocynacée (*Landolphia senegalensis*), Césalpiniacée (*Azalia africana...*), Anacardiacee (*Sclerocarya birrea...*).

2.2 Production des plants en pépinière

Nous avons utilisé les semences de 4 variétés d'anacardier provenant de 3 localités : 02 à Yôrôbougoula ; 01 en RCI et 01 à Oulélsébougou. Les semences ont été collectées sous les semenciers par les paysans et fermiers expérimentés ayant déjà eu des connaissances en la matière.

La technique de triage a été utilisée pour débarrasser les graines de toutes sortes d'impuretés telles que les graines altérées, les cailloux et les débris végétaux afin que les graines en bon état sélectionnées soient capables de donner une réponse satisfaisante. Il a été choisi des pots polyéthylènes pour la production compte de leur résistance, de hauteur 19cm et 15cm de diamètre.

Le terreau de production collecté sous les pieds d'anacardiens a été tamisé avec un tamis de maille fine (10mm) en vue d'enlever les grosses mottes dures et des matières non décomposées. Les pots de production remplis du terreau ont été rangés dans les planches de forme rectangulaire de 5m sur 1m (5x1) pour faciliter le comptage, le semis, l'arrosage et les entretiens ultérieures. Après le remplissage des pots, le classement des pots et la confection des planches ; ils ont été arrosés abondamment quelques jours avant le semis pour que le terreau se tasse bien et puisse conserver l'humidité. Les graines ont été semées à raison d'une graine par pot à cinq (05) centimètre de profondeur techniquement recommandé.

2.3 Détermination de l'effet de la provenance des semences sur les paramètres de germination

Pour la mise en œuvre de cette activité, le type de dispositif adopté a été celui en bloc raisonné de deux facteurs (i) : la variété à quatre variantes (V1, V2, V3 et V4) et (ii) : le substrat considéré à une seule variation (le terreau collecté sous le pied d'anacardier) répétée une fois. Ainsi il a été installé un dispositif (bloc raisonné) de production de huit (8) parcelles (planches) de 620 pots chacun 4960 pots pour le dispositif complet de production. Chaque parcelle était constituée d'une variété arrangée en bloc (B1 et B2) soit quatre variétés et 2480 pots par bloc (n=2). Pour la collecte des données, il a été effectué des comptages du nombre de graines germées hebdomadairement à partir du jour de la première germination pour chaque variété. Les résultats obtenus des relevés ont été comparés à ceux de l'échelle S.R.B.E.A (1977) pour caractériser chaque paramètre de production. Les paramètres évalués étaient : (i) la durée de vie latente (DVL), (ii) l'échelonnement de la levée (EL) et (iii) le taux de germination (TG).

Il désigne le rapport entre le nombre de graines germées et le nombre de graines semées, s'exprimé en pourcentage : $TG = \frac{NGGX100}{NGS}$

2.4 Détermination de l'effet de la provenance des semences sur les paramètres de croissance

L'étude des paramètres de croissance s'est portée sur : le diamètre au collet, la hauteur des semis et le nombre de folioles permettant ainsi de caractériser l'évolution des plantules. Pour la réalisation de cette activité il a été procédé un échantillonnage par variété et par bloc.

L'échantillonnage

Pour évaluer les paramètres de croissance nous avons installé six (06) parcelles élémentaires de dix (10) plants dans chaque planche soit 60 plants par planche de chaque bloc soit 24 parcelles élémentaires et 240 plants par bloc pour un total de 480 plants pour le dispositif complet. Les 6 parcelles ont été installées en respectant un nombre de 60 pots de part et d'autres des deux extrémités le long de la planche équidistantes de 100 pots et deux arrangés de pots (20 pots) de part et d'autres des deux extrémités le large de la planche d'une équidistance de 2 pots à leur tour. Les dix plants de chaque parcelle ont été choisis d'une façon aléatoire (tirage successif sans remise) après la numérotation préalable de chaque plant. Cela pour que les échantillons soient pris dans les mêmes conditions, sans répétition et aussi en tenant compte de l'effet de bordure sur chaque planche (voir photo 5). Les paramètres de croissance de chaque plant de chaque parcelle élémentaire dans chaque planche ont été mesurés hebdomadairement (chaque 7 jour) en respectant l'identité de chaque plant.

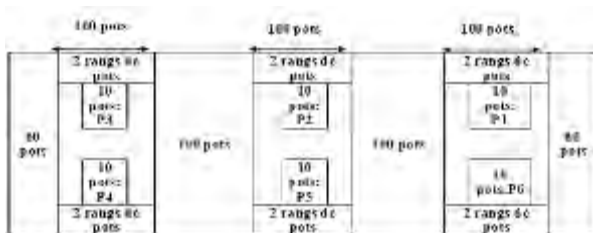


Figure 1 : Dispositif d'observation des paramètres de croissances d'un bloc

2.5 Collecte, analyse et traitement des données

Les données ont été collectées avec des fiches de collecte pour évaluer les paramètres recherchés. Ces données sont traitées et analysées avec le logiciel Excel 2016.

3. RESULTS ET DISCUSSIONS

Les résultats obtenus sont relatifs à :

- ✓ La production des plants ;
- ✓ Aux paramètres de germination ;
- ✓ Aux paramètres de croissance
- ✓ La structure des plantules

3.1. Production des plants de différentes provenances de *Anacardium occidentale L* en pépinière

3.1.1. Résilience des plants de *Anacardium occidentale L* en pépinière

Les résultats de ce graphique (figure 2) montrent un faible taux de mortalité de la V2 (13%) suivie respectivement de V1 (20%) et V3 (23%). C'est la V4 qui enregistre le plus grand taux de mortalité avec 27%. Les variétés locales ont une résistance plus élevée que la variété améliorée dans les conditions de production en pépinière.

Ce qui nous permet de dire que les plantules de V2 sont plus tolérantes aux conditions de production avec un taux de survie de 87%, d'où la provenance a un impact considérable sur la survie des plantules.

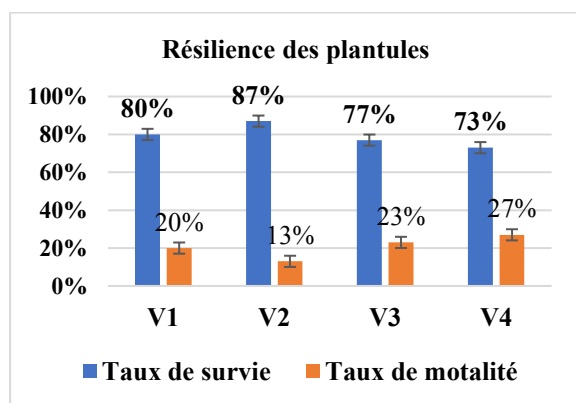


Figure 2 : Variation du taux de survie et de mortalité en fonction des variétés

3.1.2. Détermination de l'effet de la provenance des semences sur les paramètres de germination

La figure 3 illustre que la presque totalité des graines ont germées dans les deux premières semaines, mais nous observons aussi que la germination est plus intense dans la première semaine que la deuxième semaine.

Les résultats montrent que la V3 a enregistré le plus grand nombre de graines germées dans les deux premières semaines après semis.

Dans la 3^{ème} semaine nous avons remarqué un échelonnement identique de la germination de la V1, V2, V4 par rapport à la V3.

Ces résultats nous permettent de dire que les quatre variétés ont une germination groupée (S.R.B.E.A (1977)).

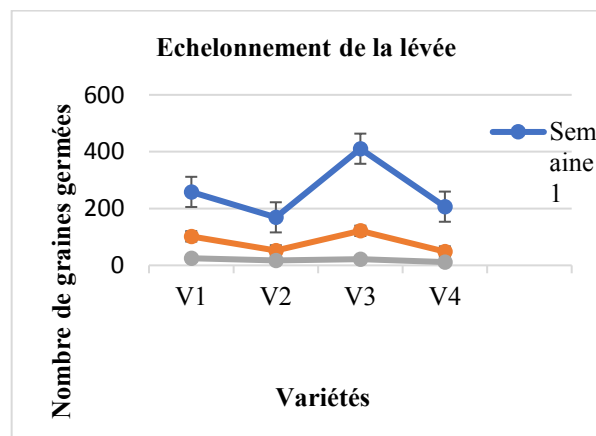


Figure 3 : Effet de provenance sur l'échelonnement de la levée

L'observation de la figure 4 montre qu'il y a une différence du point de vue du taux de germination entre les variétés. La variété 3 a enregistré la plus grande performance avec un taux de germination très élevée (89%) suivant les normes de la S.R.B.E.A. Elle est suivie par la V1 et V4 qui ont respectivement enregistré 61% et 42%. La V2 avec 38% est celle qui a obtenu le plus faible taux de germination. Des résultats similaires ont été obtenus par Yougouda et al., (2019) qui après une étude de l'effet du poids de noix et de la dose d'engrais sur la germination et la croissance de l'anacardier (*Anacardium occidentale L.*, Anacardiaceae) dans la savane guinéenne du Cameroun affirme un taux de germination de 89%. Sachant qu'aucun fertilisant n'a été appliqué dans notre expérience, nous pourrions conclure que la bonne germination des semences locales d'*Anacardium occidentale L.* ne nécessite pas d'application de fertilisant chimique.

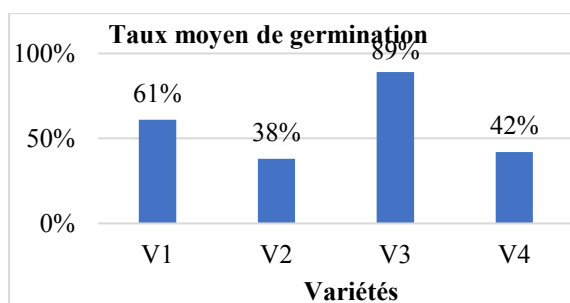


Figure 4 : Variation du taux moyen de germination par variété.

3.1.1. Evaluation l'effet de la provenance des semences sur les paramètres de croissance

La figure 5 rapporte que les plantules de la variété 1 ont les plus grands diamètres au collet avec respectivement (0,64 cm au T1 ; 0,78 cm au T2 et 0,80 cm au T3) supérieurs aux valeurs du diamètre au collet des autres variétés V2, V3 et V4.

Le plus petit diamètre au collet des différentes variétés a été observé dans la semaine 1 avec une évolution croissante au fil des autres semaines donc ce qui veut dire que la provenance a un impact sur le développement des plantules.

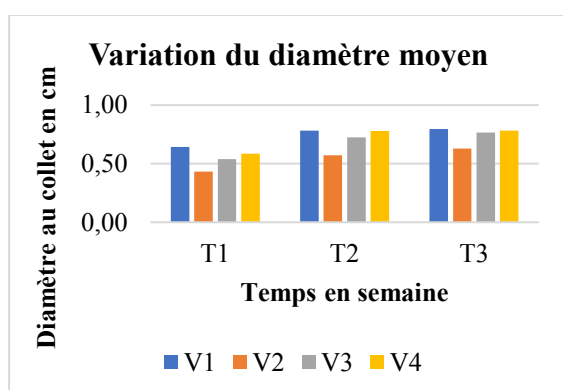


Figure 5: Variation du diamètre moyen des plantules en fonction du temps et de la provenance.

Nous remarquons une augmentation progressive de la hauteur moyenne des plantules d'un temps en un autre et d'une variété à une autre (figure 6). La variété V4 qui a enregistré les meilleures valeurs dans les 3 temps avec respectivement (22 cm, 23 cm et 27 cm de hauteur moyenne).

À l'issue de ces résultats, nous pouvons dire qu'il y a une différence du point de vue de croissance en hauteur entre les 4 variétés mises en compétition.

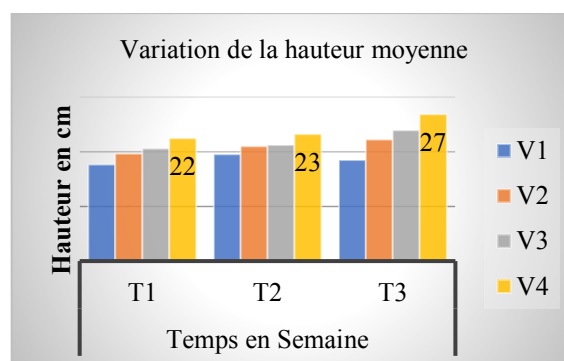


Figure 6 : Variation de la hauteur moyenne des plantules en fonction du temps et des variétés

Effet de la variété sur la structure des plantules

Tableau 5: Variation des classes de circonférence en fonction des variétés

Variétés	Classe de Diamètre %			
	[0_0,20]	[0,20_0,40]	[0,40_0,60]	[>0,60]
V1	0	19	81	0
V2	10	30	60	0
V3	3	33	64	0
V4	3	33	58	6

Le tableau 5 rapporte la distribution des plantules mesurées par classe de circonférence dans les blocs et par variété. L'analyse du tableau montre que la majorité des plants ont une circonférence comprise entre 0,20 et 0,60 cm, quelle que soit la variété. La variété locale de RCI a enregistré le plus faible nombre de plantules à une circonférence inférieure à 0,20 cm (0%) suivi de la variété locale malienne (V3) et la variété améliorée de Ouélessébougou respectivement 3%. Tant que la variété locale malienne (V2) a enregistré le plus grand nombre de plantules soit 10% des plantules mesurées ont une circonférence inférieure à 0,20 cm. Par ailleurs, la variété améliorée est la seule variété qui a enregistré des plantules dans la classe de circonférence supérieure à 0,60 cm.

Tableau 6: Variation des classes de hauteur en fonction des variétés

Variétés	Classe de hauteur %		
	[0_20]	[20_25]	[>25]
V1	78	19	3

V2	35	65	0
V3	19	61	19
V4	17	39	44

Le tableau 6 montre la distribution des plantules mesurées par classe de hauteur dans les blocs et par variété. Il ressort de l'analyse du tableau que la majorité des plants ont une hauteur comprise entre 20 et 25 cm excepté la variété locale de la RCI dont la majorité des plantules est inférieure à 20 cm soit 78% des plantules mesurées. La variété locale malienne (V2) a enregistré le plus faible nombre de plantules à hauteur supérieur à 25 cm (0%) suivis de la variété locale de la RCI (V1) et la variété locale malienne (V3) respectivement (3% et 19%). Une fois de plus la variété améliorée est celle qui a enregistré le plus grand nombre des plantules à hauteur supérieure à 25 cm soit 44% des plantules mesurées. En conclusion, c'est la variété améliorée qui a une croissance en hauteur plus élevée que les autres variétés suivies des deux variétés locales maliennes et la variété locale de RCI est celle qui a la plus faible croissance en hauteur dans les conditions de production de notre étude.

IV. CONCLUSION

Au regard des résultats obtenus, nous pouvons dire que produire des plants en pépinière est une activité très délicate, compte tenu de la diversité de l'espèce (variété, provenance) et de leurs exigences par rapport aux différents facteurs (climatique, édaphique et biotique). Les résultats de cette étude sont riches et variés. Principalement, elle nous a permis de conclure que les paramètres de germination, de croissance et la résistance des plantules (résilience) varient non seulement en fonction des variétés, mais aussi des paramètres observés. Il ressort des résultats que la majorité des plants ont une hauteur comprise entre 20 et 25 cm excepté la variété locale de la RCI dont la majorité des plantules est inférieure à 20 cm soit 78% des plantules mesurées. La variété locale de RCI a enregistré le plus faible nombre de plantules à une circonférence inférieure à 0,20 cm (0%) suivi de la variété locale malienne (V3) et la variété améliorée de Ouélessébougou respectivement 3%. Mais par ailleurs, la variété locale malienne (V3) a enregistré la plus grande performance en germination avec un taux très élevé (89%).

REMERCIEMENTS

Ce travail a été supporté par le projet PAFAM de la DNA, Mali et a eu lieu grâce aux investissements physiques des étudiants de LAGRF de la promotion 2018-2021. Nous sommes reconnaissants aussi de trois personnes pour leur assistance remarquable.

REFERENCES

BDPA - FRA, SCET - FRA, CIRAD-CTFT - FRA. (1991) ; Projet inventaire des ressources ligneuses au Mali. Phase b. Synthèse technique. s.l. CIRAD-CTFT-Republique du Mali, 566 p.

CIRAD-CTFT - FRA, BDPA - FRA. (1990) ; Projet inventaire par télédétection des ressources ligneuses et de l'occupation agricole des terres au Mali. Carte des formations végétales. Coupure 22 : Nampala, Sa. Nogent-sur-Marne : CIRAD-CTFT-BDPA SCETAGRI, 1 carte, échelle : 1:200000.

CNPM. (2015) ; Conseil National du Patronat du Mali Immeuble du Patronat. Rapport annuel. Hamdallaye ACI 2000, cnpm@cnpm.ml · www.cnpm.ml BP 2445 Bamako.

FANE et al ,(2018); Capacité de séquestration de carbone des espèces d'arbres des différentes formations végétales dans la zone écologique soudanienne du Mali. 10eme Symposium Malien des Sciences Appliquées (MSAS), Bamako, Mali. Juillet 2018.

FAO, (2014) ; Base des données de la FAO 2011. <http://faostat3.fao.org>, Gnganglè C. P. 2012. Perceptions paysannes du changement climatique : stratégies d'adaptation dans la gestion des parcs à karité au Bénin. Thèse de Doctorat unique en Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi, 154p

LOA. (2006) ; La Loi d'Orientation Agricole du Mali. Fixant les orientations de la politique de développement Agricole du Mali. Ministère de l'agriculture. JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE DU MALI. 18p.

Michel Arbonnier , 2000 ; Arbre, arbuste et lianes des zones d'Afrique de l'Ouest.

Stéphane FM. (2019). Fiche Technique Anacarde : La culture de la noix de cajou. <https://www.agricultureaucameroun.com/2019/02/culture-noix-de-cajou.html> (Accédé le 20 Février 2020).

Touré B. (2010) ; Normes et pratiques d'acquisition des terres en zone office du Niger du Mali : Etat, investisseurs et exploitants locaux au cœur d'une arène locale. Revue malienne de langue et de littératures. Bamako, Mali, 001, 16p

Wologuème F. (2020) ; Rapport d'étape de thèse en cours. Université de Ségou, Mali.

World Bank. (2015) b. Doing business (2015) ; Washington, DC: World Bank & International Finance Corporation. [Cited 11 August 2015.]

Available from URL:
<http://www.doingbusiness.org/reports/global-reports/doing-business-2015>.

Yougouda H., Adoum D., Orliane N., Claudette M.N., Jean M.D., Ko A. et Pierre M.M. (2019). Effet du poids de noix et de la dose d'engrais sur la

germination et la croissance de l'anacardier (*Anacardium occidentale* L., Anacardiaceae) dans la savane guinéenne du Cameroun. Afrique SCIENCE 15(5) : 302 – 312

Variabilité inter annuelle de la croissance de *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) dans les conditions agro climatiques de Katibougou

Coulibaly Hawa¹, Coulibaly Drissa¹, Niaré Tièma¹

¹Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou, Koulikoro, Mali

Auteure de correspondance: Coulibaly Hawa

Email: coulibhawa@yahoo.fr

RÉSUMÉ : De 2012 à 2014, trois séries d'élevages de *Oreochromis niloticus*, (Linné, 1758) ont eu lieu à Katibougou et chacune a duré 120 jours. L'étude avait comme objectif d'analyser la variabilité inter annuelle des performances de croissance des poissons dans les conditions agro climatiques de Katibougou.

Les alevins mono sexes (mâles) ont été répartis dans 24 bassins de 2 m³ chacun avec une densité de 20 poissons au m³. À l'empoisonnement, les alevins ont pesé en moyenne 24,90 ± 3,85 g (2012); 16, 73 ± 4,53 g (2013) et 25,69 ± 8,62 g (2014). Lors de chaque campagne, les paramètres physico-chimiques de l'eau des bassins : pH, température (°C) et oxygène (mg/l) étaient mesurés une fois par quinzaine.

Les poissons ont été nourris avec six régimes dont deux témoins R1 et R2. Les quatre autres rations à tester proviennent de la substitution de 10 % (M10) ou 20 % (M20) des protéines animales de ces deux témoins par de la poudre de feuilles de *M. oleifera*.

Les meilleurs croissances et indices de conversion alimentaire (ICA) ont été obtenus avec les régimes R1 et toutes ses substitutions par rapport au régime R2 et toutes ses substituons. Ainsi, les ICA moyens pour chaque année ont été de 3,77^b ± 0,63 vs 6,29^a ± 0,63 (2012) ; 2,60^b ± 0,63 vs 6,40^a ± 0,63 (2013) et 2,78^c ± 0,63 vs 5,62^b ± 0,63 (2014).

L'analyse de variance révèle que les meilleures croissances et conversion alimentaire ont été enregistrées au cours de la deuxième série d'expérimentation, conduite entre juillet et novembre avec des températures comprises entre 26,24 ± 0,19 °C et 30,63 ± 0,71 °C.

La pisciculture est extrêmement sensible aux variations, tant soudaines qu'à long terme, des conditions environnementales. Des systèmes permanents de suivi simples et peu coûteux peuvent permettre d'enregistrer, d'analyser et de comprendre les causes des changements physicochimiques et biologiques du milieu.

Mots clés : *Oreochromis niloticus*, poudre de feuilles de *Moringa oleifera*, croissance, conditions environnementales.

1. INTRODUCTION

Les poissons sont des animaux poikilothermes (température corporelle qui varie avec celle de leur milieu). Toute modification de température de leur environnement a un impact sur le métabolisme global et donc sur la vitesse de croissance et sur le rendement final (reproduction: rythme des pontes et fécondité), sur la sensibilité aux pathogènes et aux substances toxiques (Lazard, 2017). Selon, Niaré et Bénech (1993), la croissance des poissons présente, en dehors des différences d'origine génétique, une variabilité liée à la diversité des biotopes et à la fluctuation interannuelle du régime hydrologique dans un milieu donné. Pour Alexander (2017), l'énergie disponible pour la croissance chez les poissons peut varier dans le temps et dans l'espace, en fonction des conditions environnementales et de la disponibilité des aliments. Aussi, l'alimentation et l'utilisation des aliments comptent parmi les réponses du poisson aux variations du milieu qui peuvent être modifiées par celles-ci. Cependant, il convient de noter que peu d'études concrètes de l'impact du changement des conditions environnementales sur la pisciculture en tant que telle a été réalisée. Pour cette raison, il nous a paru utile d'étudier la variabilité inter annuelle de la croissance

d'*Oreochromis niloticus*, (Linnaeus, 1758), en élevage dans les conditions agro écologiques de Katibougou

II. METHODOLOGIE

2.1. Site d'étude

L'expérimentation a été conduite au potager de la ferme agro-sylvo-pastorale de l'Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) de Katibougou. Le climat y est caractérisé par une saison sèche allant d'octobre à la fin mai (7-8 mois); une saison pluvieuse, allant de juin à début octobre (4 à 5 mois). La saison sèche est divisée en deux périodes : une période chaude où la température moyenne varie entre 30° et 33°C et une période fraîche qui s'étend de novembre à février ou la température moyenne varie entre 21°C et 26 °C.

2.2. Conduite de l'essai

De 2012 à 2014, trois séries d'élevages de poissons ont été réalisées. Chacune comprenait neuf cent soixante (960) alevins mono sexes (mâles) d'*Oreochromis niloticus*. Les alevins ont été répartis dans 24 bassins de 2 m³ chacun à la densité de 20

poissons au m³. Les tests ont été conduits sous un dispositif expérimental de Blocs de Fischer de six traitements avec quatre répétitions.

Le tableau 1 consigne les caractéristiques biométriques des alevins à l'empoissonnement ainsi que les périodes d'élevage.

Tableau 1. Caractéristiques biométriques des alevins à l'empoissonnement au cours des séries expérimentales.

Année	Taille moyenne ±Ecart-type (cm)	Poids moyen ±Ecart-type (g)
Novembre 2012 à Février 2013	12,14 ±1,52	24,90 ±3,85
Juillet à Novembre 2013	9,46 ±0,88	16,73 ±4,53
Mai à Septembre en 2014	11,32 ±1,2	25,69 ±8,62

Les alevins de la deuxième campagne (Juillet-Novembre 2013) sont plus petits et plus légers que ceux des autres années. Le poids des alevins en 2014 est très variable.

2.3. Paramètres mesurés

Paramètres physico-chimiques de l'eau des bassins : le pH, la température (°C) et l'oxygène dissous (mg/l) ont été mesurés une fois par quinzaine entre 6h et 8h, à l'aide d'un appareil polyvalent PCD-PHD 1, avant distribution des aliments.

Paramètres biométriques : le poids et la taille ont été mesurés régulièrement à l'empoissonnement et aux pêches de contrôle lors de chacune des trois campagnes. Les données collectées ont permis de calculer de nouvelles variables relatives à la croissance et à l'efficacité alimentaire.

Régimes alimentaires et mode de distribution

- R1: témoin 1 (70% Remoulage +10% de farine de poisson et 20 % de tourteau de coton)
- R2: témoin 2 (70 % de farine de maïs blanc + 30 % de farine de soja)
- R1M10 incorporant 10 p 100 de poudre de feuilles de *M. oleifera*
- R1M20 incorporant 20 p 100 de poudre de feuilles de *M. oleifera*;
- R2M10 incorporant 10 p 100 de poudre de feuilles de *M. oleifera*
- R2M20 contenant 20 p 100 de poudre de feuilles de *M. oleifera*.

Les aliments, sous forme de granulés, ont été distribués manuellement selon le protocole de Lazard (2007) : 3 ou 2 fois par jour à heures fixes (8h; 12h et 16h) ou (8h et 16 h) avec respectivement 5 % et 3 % de leur biomasse tous les jours sauf la veille des pesées où les poissons observaient un jeûne. Pour les trois séries d'élevage, la quantité d'aliment distribuée par jour était pesée à l'aide d'une balance électronique. Chaque jour, les poissons morts étaient pêchés, le nombre et le poids notés.

2.4. Paramètres calculés

La croissance individuelle journalière (CIJ en g/j) ou gain moyen quotidien (GMQ) a été calculée selon la formule ci-dessous :

$$\text{GMQ (g/j)} = (\text{Pt} - \text{Pti}) / \text{D}$$

Le taux de croissance spécifique (TCS en %) a été obtenu en utilisant la formule :

$$\text{TCS (\% pc/j)} = [\ln(\text{poids final}) - \ln(\text{poids initial})] \times 100 / \text{Durée de l'expérience en jours}$$

L'indice de conversion alimentaire (ICA) a été calculé selon la formule :

$$\text{ICA(\%)} = (\text{Quantité de nourriture distribuée (g)} / \text{Gain de masse (g)}) \times 100$$

2.5. Traitement statistique des données

Les données de la croissance pondérale et staturale ont été soumises à une analyse de la variance à 2 critères de classification (ration alimentaire et période). Lorsque les différences existaient entre les traitements, les moyennes étaient comparées par le test de Newman et Keuls au seuil de 5%.

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Paramètres physico chimiques

- Températures

Les températures moyennes ont varié de 23,84 ± 0,1 °C à 26,61 ± 0,1 °C au cours de la première campagne (Octobre 2012 à Février 2013). Au cours des deuxième et troisième séries expérimentales, elles ont varié respectivement de 25,4 ± 0,71 °C à 28,77 ± 0,19 °C (Juillet à Novembre 2013) et 26,24 ± 0,19 °C à 30,63 ± 0,71 °C (Juin à Septembre 2014) (figure 1). Nous constatons que les températures moyennes enregistrées lors de la deuxième série d'expérimentation restent favorables à une meilleure croissance de *O. niloticus* comme indiqué par la FAO (2012).

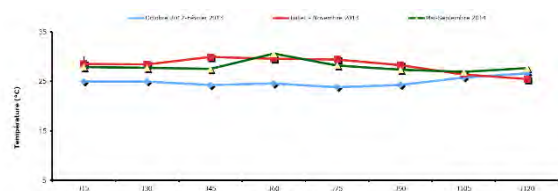


Figure 1. Variation de la Température des eaux des bassins lors des trois séries d'élevage

- pH

Les valeurs moyennes du pH de l'eau des différents bassins ont varié de $6,86 \pm 0,3$ à $7,93 \pm 0,3$ (en 2012-2013) ; $6,74 \pm 0,14$ à $7,05 \pm 0,25$ (en 2013) et de $6,56 \pm 0,4$ à $7,31 \pm 0,4$ (en 2014) (figure 2). Globalement, le pH est resté presque neutre à légèrement acide au cours des trois séries d'élevage. Nos résultats restent dans les normes des eaux piscicoles qui sont : $6,5 < \text{pH} < 8,5$ (FAO, 2012).

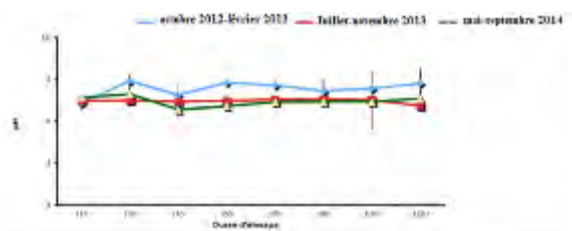


Figure 2. Variation du pH des eaux piscicoles au cours des trois séries d'Élevage

- Oxygène dissous

La teneur moyenne enregistrée au cours des trois séries d'expérimentation a varié entre $1,88 \pm 0,7$ et $2,34 \pm 1$ mg/l d'Octobre 2012 à Février 2013 ; $1,03 \pm 0,66$ à $2,84 \pm 0,34$ mg/l (juillet à Novembre 2013) (figure 3). Dans l'ensemble, les taux d'oxygène enregistrés sont restés très faibles. Ces faibles moyennes enregistrées dans le milieu pourraient être dues à une forte activité consommatrice d'oxygène la nuit par les poissons pour différentes activités biologiques, notamment la respiration (Fernando, 1993).

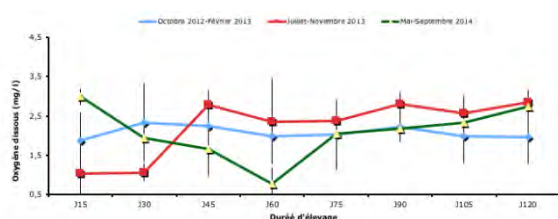


Figure 3. Variation de la teneur en oxygène dissous dans les eaux des bassins au cours des trois séries d'élevage.

3.2. Performances zootechniques

- Évolution de la taille et du poids

Tailles aux âges fixes

Le tableau 2 nous donne la signification statistique de l'influence des facteurs de variation (régimes alimentaires, années et leur inter action)

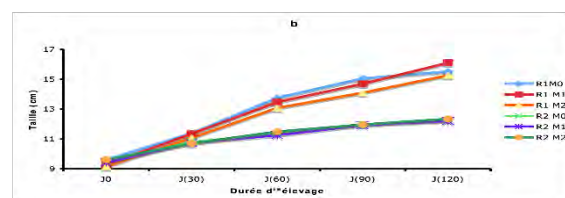
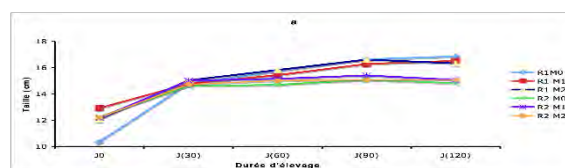
sur la taille moyenne aux différents âges.

Tableau 2. Signification statistique de l'influence des facteurs de variation (régimes alimentaires, années et leur inter action), coefficient de variation (%) et la plus petite différence significative (ppds) de la taille moyenne aux différents âges.

Influence des facteurs	J0	Taille J30	Taille J60	Taille J90	Taille J120
Année	HS	HS	HS	HS	HS
RA	HS	HS	HS	HS	HS
Année x RA	HS	NS	HS	HS	HS
CV%	2,8	3,8	3,3	2,3	2,8
Ppds	0,43	0,7	0,64	0,48	0,58

Ppds : Plus petite différence significative ; HS : hautement significative ; NS : non significative.

On observe une variabilité des tailles moyennes aux âges fixes des poissons nourris avec la ration 1 et ses substitutions en fonction de la période d'élevage. C'est ainsi, qu'en 2013, les poissons nourris avec les régimes R1M0 et R1M10 ont enregistré des tailles moyennes comparables et supérieures à celle des individus consommant l'aliment R1M20 ; (de $9,61 \pm 0,18$ cm à $15,53^a \pm 0,15$ cm pour R1M0 et de $9,27 \pm 0,18$ cm à $16,11^a \pm 0,15$ cm pour R1M10 vs de $9,15 \pm 0,18$ cm à $15,27^b \pm 0,15$ cm pour R1M20). En 2014, l'aliment R1M0 a permis d'atteindre une taille moyenne des poissons supérieure à celle obtenue avec R1M10 et R1M20 ; (de $11,30 \pm 0,35$ cm à $16,8^a \pm 0,15$ cm pour R1M0 vs de $11,11 \pm 0,39$ à $15,9^b \pm 0,15$ cm pour R1M10 et de $11,45 \pm 0,45$ cm à $15,70^b \pm 0,15$ cm pour R1M20) ; (Figures 4 a, b et c).



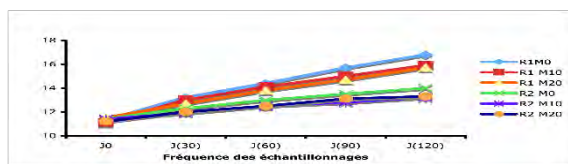


Figure 4. Évolution de la taille moyenne individuelle des poissons par régime alimentaire au cours des expériences. a : Octobre 2012 à Février 2013 ; b : Juillet à Novembre 2013 ; c : Mai à Septembre 2014.

Les tailles moyennes aux différents âges sont significativement influencées par l'année d'élevage, le régime alimentaire et l'interaction entre ces deux facteurs sauf à 30 jours.

• Poids aux âges fixes

La signification statistique de l'évolution du poids moyen des poissons aux différents âges ainsi que l'interaction entre les années d'élevage et les régimes alimentaires sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3. Signification statistique de l'influence des facteurs de variation (régimes alimentaires, années et leur interaction), coefficient de variation (%) et la Ppds du poids moyenne aux différents âges

Influence des facteurs	Poids J0	Poids J30	Poids J60	Poids J90	Poids J120
Année	HS	HS	HS	HS	HS
RA	HS	HS	HS	HS	HS
Année x RA	HS	HS	NS	HS	HS
CV%	9,6	9,2	9,9	7	7,7
Ppds	3,04	5,3	6,95	5,67	6,96

Ppds : Plus petite différence significative ; HS : hautement significative ; NS : non significative

L'année d'élevage a une influence sur le poids moyen des poissons quelque soit l'âge. Le régime alimentaire n'influe sur le poids moyen qu'à partir de 30 jours d'élevage. L'interaction année d'élevage et régime alimentaire influe sur tous les poids moyens excepté à 60 jours.

Les poids moyens aux différents âges sont nettement supérieurs chez les poissons nourris avec la ration 1 et ses substitutions que pour ceux qui sont alimentés avec les rations R2M0, R2M10 et R2M20 au cours des trois séries expérimentales (Figures 5 a, b et c).

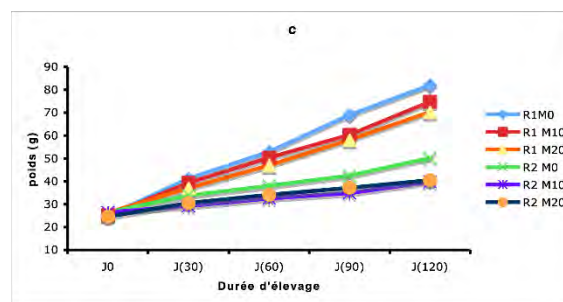
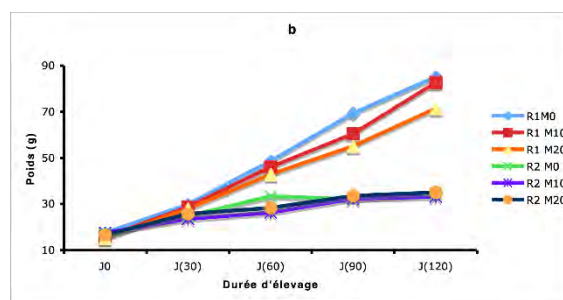
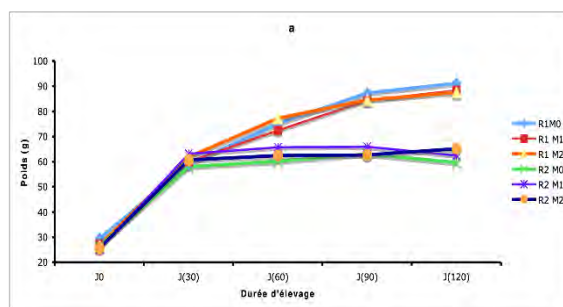


Figure 5. Évolution du poids moyen individuel des poissons par régime alimentaire au cours des trois expériences. a : Octobre 2012 à Février 2013 ; b : Juillet à Novembre 2013 ; c : Mai à Septembre 2014

• Variation de la vitesse de croissance

Le tableau 5 renseigne sur les variations de vitesse de croissance en fonction des traitements sur les trois séries d'expérience.

Tableau 5 : Gain Moyen Quotidien (GMQ, g/j), Taux de conversion spécifique (TCS, %) et Indice de conversion alimentaire (ICA) selon le régime alimentaire.

Régimes alimentaires	GMQ (g/j)			TCS (%)			ICA		
	2012	2013	2014	2012	2013	2014	2012	2013	2014
R1M0	0,51 ^a	0,57 ^a	0,51 ^a	0,95 ^a	1,20 ^a	1,01 ^a	3,21 ^a	1,40 ^a	2,70 ^a
R1M10	0,51 ^a	0,56 ^a	0,41 ^a	1,01 ^a	1,20 ^a	0,91 ^a	3,07 ^a	1,41 ^a	2,85 ^a
R1M20	0,51 ^a	0,47 ^a	0,31 ^a	1,01 ^a	1,20 ^a	0,82 ^a	2,97 ^a	1,75 ^a	2,40 ^a
R2M0	0,36 ^b	0,47 ^a	0,30 ^a	0,73 ^b	0,83 ^b	0,80 ^b	4,13 ^b	0,98 ^b	5,01 ^b
R2M10	0,31 ^b	0,43 ^a	0,31 ^a	0,77 ^b	0,83 ^b	0,80 ^b	3,25 ^b	1,30 ^b	4,30 ^b
R2M20	0,31 ^b	0,16 ^b	0,13 ^b	0,72 ^b	0,42 ^b	0,41 ^b	5,01 ^b	1,44 ^b	1,74 ^b
CT	0,02	0,03	0,03	0,06	0,06	0,05	0,53	0,71	1,27
PyA	0,02	0,03	0,04	0,14	0,3	0,11	1,43	1,01	2,7
Fw (AS)	0,1	0,5	0,1	0,5	1,0	1,1	0,5	1,1	0,5
CV %	9,6	10,8	10,4	8,8	9,1	10,0	10,1	10,7	10,4

Les poissons nourris avec les régimes R1M0, R1M10 et R1M20 ont obtenu au cours des trois séries d'expérimentation des indices de conversion

alimentaires meilleurs à ceux consommant R2M0, R2M10 et R2M20. Globalement, l'efficacité alimentaire est faible pour la ration témoin 2 et ses substitutions. La substitution avec la poudre de feuilles de *M. oleifera* dans la ration à base de maïs présente une variabilité très significative de l'ICA en 2014. Les meilleures vitesses de croissances ont été enregistrées au cours de la deuxième série d'expérimentation quand les paramètres physico-chimiques (températures et pH) enregistrés étaient en adéquation avec ceux conseillés par FAO (2012).

IV. CONCLUSION

Les meilleures croissances ont été enregistrées au cours de la deuxième série d'expérimentation conduite entre juillet et novembre (période recommandée pour la pisciculture artisanale dans nos conditions). La pisciculture est extrêmement sensible aux variations, tant soudaines qu'à long terme, des conditions environnementales. Des systèmes permanents de suivi simples et peu coûteux peuvent permettre d'enregistrer, d'analyser et de comprendre les causes des changements physico-chimiques et biologiques du milieu. Malgré la rusticité de nos espèces face aux conditions d'élevage, ces variations peuvent souvent être la cause du ralentissement de la croissance et même de mortalités enregistrées. Il conviendrait ainsi d'insister sur l'importance du suivi local des

paramètres de l'environnement, pour une amélioration de la production de nos espèces locales.

REFERENCES

1. Alexander Jose Barrios Rodriguez, 2017. Influence des variations des facteurs environnementaux sur la croissance de poissons de l'atlantique. Biodiversité et Ecologie. Agrocampus Ouest, 2017.
2. FAO, 2012. Séminaire d'Aquaculture de Guadeloupe. Documentation et fiches techniques. <http://www.guadeloupe2012.com/> En ligne. (Page consultée le 15 juin 2021).
3. Fernando C.H. 1993. Rice field ecology and fish culture. *Hydrobiologia*, 259. Pp.91-113.
4. Lazard J., 2017. Les systèmes aquacoles face au changement climatique. *Cahiers Agricultures*. 2017, 26, 34001.
5. Lazard J., 2007. Le Tilapia. *Cahiers Agricultures*. Paris. 16 (2), 123-124.
6. Niaré T., Bénech V., 1993. Modifications de la croissance de *Brycinus leuciscus* (Characidae) suite aux changements hydroclimatiques et halieutiques dans la plaine inondée du Delta Central du Niger. *Ichth. Explor. Fresh.*, 4 (1), 65-78

SOL ET ENVIRONNEMENT

Population réinstallée et enjeux fonciers dans la zone du barrage de Manantali au Mali

Mohamadine Asseydou^{1*}, Hamadou Amadou Cissé Barry², Mahamadou Moussa Keita¹

¹Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou, Mali

²Université des Lettres et des Sciences Humaines de Bamako, Mali

*Courriel de l'auteur de correspondance : mohamadine.haidara@yahoo.fr

RESUME : La réalisation du barrage de Manantali, au début des années 80 a inondé les terres situées dans sa zone amont. Cela a entraîné la réinstallation de la population touchée dans la partie aval. Dans ce cadre que les villages déplacés ont été accueillis par d'autres villages non touchés par l'inondation. Ainsi, les villages hôtes ont dû partager leurs terroirs avec les villages recasés. Avec l'accroissement démographique, des nouveaux enjeux fonciers émergent. La cohabitation entre les réinstallés et les hôtes s'avère de plus en plus difficile débouchant de plus en plus à des conflits. L'objectif général vise à analyser les enjeux fonciers suscités par l'avènement du barrage de Manantali. Cette étude a reposé sur la méthode qualitative en privilégiant l'entretien semi directif et l'observation directe.

Les résultats saillants relèvent de plus en plus la cohabitation difficile entre les communautés hôtes et celles réinstallées à cause des enjeux fonciers. Les terres agricoles subissent une forte pression due à la concentration démographique. Les compétitions autour des ressources naturelles s'accroissent et débouchent sur des conflits entre les acteurs de l'arène socio-foncière. Le plan d'aménagement des villages réinstallés n'ayant pas pris en compte la dynamique démographique. La distribution et la gestion des ressources entre ces communautés suscitent des vives tensions. Egalement, les mesures d'accompagnement tenues par les autorités en charge de la réinstallation n'ont pas été respectées à hauteur de souhait. Face à ces situations, les déplacés développent des stratégies comme la création des hameaux de culture pour garantir leur survie.

Dans ce contexte, les modes de gestion de conflits connaissent des mutations sociales profondes. Les acteurs préfèrent recourir aux instances modernes de gestion au détriment des mécanismes endogènes en la matière. Par ailleurs, deux registres discursifs sont mobilisés pour expliquer ces enjeux fonciers. Les communautés hôtes ont le sentiment d'être envahies tandis que les recasés estiment être déracinés et expropriés.

Mots clé : enjeux fonciers, barrage, réinstallation, villages hôtes, villages déplacés

I. INTRODUCTION

Le Mali est un pays qui dispose des ressources en eau permettant de satisfaire les besoins en électricité et en sécurité alimentaire si elles sont mobilisées de façon judicieuse. La sécheresse des années 70 a poussé les autorités du pays à trouver des solutions durables aux problèmes de l'ère. C'est en réponse à cette situation que l'Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal (OMVS) lança un ambitieux programme d'investissement dans des infrastructures de maîtrise de l'eau du fleuve Sénégal. Les barrages de Diama (en aval) et de Manantali (en amont) sont les pivots de ce programme [1]. Ainsi, la construction du barrage de Manantali se situe dans cette dynamique. La réalisation de cette infrastructure au début des années 80 a inondé les terres situées dans sa zone amont. En outre, les bois sacrés, les cimetières, les lieux de culte ont été engloutis par l'eau du lac au dam de la population. Cela a contraint le déplacement de la population touchée dans la partie aval. Donc 46 villages et hameaux de la zone du réservoir de Manantali ont été déplacés pour être réinstallés dans 30 nouveaux villages (27 en aval et 3 en amont). Ainsi, les villages hôtes ont dû partager leurs terroirs avec les villages déplacés. Les populations à déplacer dans leur majorité ont accepté

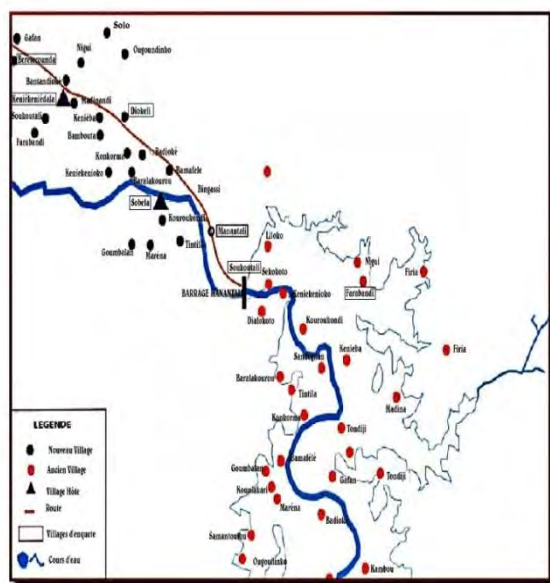
d'abandonner leurs terroirs pour l'intérêt public mais aussi à cause des promesses des meilleures conditions de vie induites par le barrage. Quant aux villages hôtes, ils ont adhéré au projet et l'accueil des villages touchés malgré quelques réticences. A l'époque, la population de la zone étant moins peuplée, les ressources naturelles parvenaient à subvenir aux besoins de tous. En ce qui concerne les ménages déplacés, un hectare par actif leur a été attribué. Entre -temps, la population a augmenté de façon exponentielle et du coup, les terres attribuées s'avèrent insuffisantes créant une pression foncière sans précédent. C'est dans ce contexte de raréfaction des ressources naturelles que la population développe toute une panoplie des stratégies locales de diversification de revenus (la création des hameaux, maraichage, orpaillage, etc.). Au fil du temps, des nouveaux enjeux fonciers émergent ; en plus des déplacés, la zone attire d'autres migrants. La cohabitation entre les réinstallés et les hôtes s'avère de plus en plus difficile débouchant des fois à de conflits. Compte tenu de la désuétude des instances traditionnelles de régulation des conflits, les acteurs font recours aux mécanismes modernes. Toute chose qui contribue à la désarticulation des liens sociaux séculaires. Cette étude concerne la zone du barrage de Manantali, située au sud-ouest du cercle de

Bafoulabé dans la région de Kayes au Mali. Avec le découpage administratif issu de la décentralisation, la sous-préfecture de Bamafélé qui couvre la zone fut répartie entre deux communes rurales, à savoir Bamafélé et Diokeli. Donc, les villages déplacés et hôtes relèvent géographiquement de ces deux communes. Les patronymes dominants sont les Keita, Dembélé, Sissoko, appartenant tous à l'ethnie Malinké. Ces derniers cohabitent avec les peuhls sédentarisés, des soninkés, kassonkés, bambara, etc. L'étude se fixe comme objectif général: analyser les enjeux fonciers suscités par l'avènement du barrage de Manantali :

II. METHODOLOGIE

Cette recherche a mobilisé la méthode qualitative [2]. Ainsi, les techniques de l'entretien semi-structuré et de l'observation directe ont permis de collecter les données dans sept villages (villages hôtes, villages déplacés) de la zone du barrage de Manantali à travers un guide d'entretien et une grille d'observation. Au total, une vingtaine d'entretiens individuels approfondis ont été réalisés auprès des notabilités, des responsables techniques et administratives ayant permis de collecter des données relatives aux perceptions et appréciations des enjeux fonciers. Les données ont été collectées en janvier et février 2021.

Ainsi, un dictaphone a été utilisé pour l'enregistrement des données. Les entretiens ont été réalisés en langues malinké, bamanan et française et les discours ont été transcrits fidèlement et traduits en langue française. L'analyse de contenu de discours a été appliquée pour le traitement des données.



Carte 1: Zone du barrage de Manantali
Source : rapport AFD (2008)

III. RESULTATS

3.1 Les enjeux fonciers

La problématique de gestion des ressources naturelles se pose avec acuité mais surtout pour les villages déplacés. A l'instar des autres milieux ruraux, la plupart de conflits dans ce cas affichent aussi un relent foncier. Les interactions des différents acteurs (hôtes et leurs déplacés) autour des terres agricoles sont souvent empreintes de tensions.

3.1.1 Gestion des terres avant l'avènement du barrage

L'avènement du barrage a induit des mutations majeures dans la gestion des terres agricoles. Avant la création de cet édifice, les problèmes fonciers y étaient rares, car la pression sur les ressources naturelles étant faible. La gestion des terres obéissait aux normes coutumières comme un peu partout en Afrique traditionnelle. L'extrait de cet entretien du maire de Diokéli est assez édifiant sur la situation qui prévalait dans la localité : « Pour les nouveaux arrivants du village, c'est-à-dire ceux qui quittaient un village pour un autre, il suffisait d'amener dix noix de colas chez le chef de village. Le plus souvent c'est l'hôte de l'étranger qui l'accompagnait dans sa démarche, C'est comme ça que la terre était gérée sur l'ancien site avant le barrage ». Les rapports entre les autochtones et les allochtones étaient décrits cordiaux. Cela dénotait du fait que les enjeux fonciers étaient négligeables. Cette zone ne subissait pas assez de compétition et de convoitise autour des ressources naturelles.

Dans le même registre, elle se caractérisait par l'abondance des terres. Et puis, la zone vivait dans une certaine autarcie, elle recevait peu d'étrangers à la recherche de terres. Le besoin de la population en la matière était satisfait et les heurts autour du foncier étaient rarissimes. Le passage de cet entretien M.S, ancien maire de la commune rurale de Bamafélé illustre la situation d'antan : « Avant le barrage, la population avait suffisamment de terres, en ce moment, les conflits étaient même rares. Parce qu'on pouvait défricher chaque deux ans un champ. Avant, le foncier ne se posait jamais ». Ainsi, la disponibilité de terres est un facteur contribuant à la stabilité et la paix entre les différents acteurs de l'arène socio-foncier. Cela se déroulait dans un contexte de faible démographie, la zone n'attirait pas d'autres paysans puisqu'elle était dépourvue des infrastructures et autres commodités incitatives. Cela pourrait expliquer la faible pression foncière. En outre, les personnes ressources de la zone insistent sur la rareté des conflits fonciers. Par ailleurs, il faut retenir que les enjeux fonciers augmentent avec la rareté des terres avec l'avènement du barrage. Ces facteurs sont en lien direct avec la valorisation des potentialités naturelles de la zone et d'autres conditions artificielles (aménagement, avènement des infrastructures, etc.). Avant la création du barrage, la zone était présentée comme un havre de

paix en matière des problèmes fonciers. La gouvernance des ressources naturelles était dévolue aux autorités coutumières. Mais, l'avènement du barrage a transformé les rapports socio-fonciers de la localité.

3.1.2 La réalisation du barrage : Compétition et convoitise autour des terres (hôtes et réinstallés)

Ainsi, la construction de cette infrastructure hydro-électrique a nécessité le déplacement de villages d'amont vers l'aval du barrage. Cette action a obligé les villages hôtes à partager désormais leur terroir avec les villages déplacés. Au tout début, le projet du barrage a décidé d'attribuer un hectare par actif pour les ménages recasés. De nos jours, la population a été doublée voire triplée ; de facto, le besoin en terres cultivables augmente. Cette situation suscite de compétition et de convoitise entre les hôtes et les accueillis autour des ressources foncières. Ainsi, l'entretien de ce conseiller villageois d'un village réinstallé, S.K est assez édifiant : « *Au départ, on pouvait cultiver une petite parcelle pour nourrir les siens mais avec la dynamique démographique, on est obligé de défricher d'autres parties et c'est là où le problème se situe. Le projet de réinstallation nous a attribué des terres qui appartiennent à notre village hôte, il a semé la confusion. Le village hôte ne reconnaît pas cette attribution faite par le projet* ».

Compte tenu de la dynamique démographique, les villages déplacés agrandissent leurs espaces agricoles, ce qui ne manque pas de créer des incompréhensions entre les autochtones et les déplacés. Le manque de prévision et de planification de la part des autorités du barrage a contribué à réduire les marges de manœuvre des villages déplacés en ce qui concerne le patrimoine foncier. Autre facteur, la concertation et la négociation avec les villages hôtes ont été escamotées et les déplacés n'y étaient pas trop impliqués. Conséquence, les autochtones remettent en cause les décisions des autorités du barrage et de facto les déplacés sont obligés de formuler des demandes auprès des hôtes qui peuvent valider ou non. Autre problème, le manque d'expérience des acteurs en matière de déplacement de population dans le cadre des travaux d'intérêt public constitue un facteur handicapant. Il y a également le contexte politique, pendant la période de la création du barrage, il n'existait pas une politique des études d'impact environnemental et social qui pourrait envisager les effets positifs et négatifs de l'édifice.

Outre les villages déplacés, le barrage a favorisé une recomposition sociale et une reconfiguration territoriale de la zone. Son avènement a valorisé la zone, elle attirait d'autres populations à la recherche du travail mais aussi les travailleurs et assimilés du barrage qui viennent gonfler le rang des demandeurs de terres. Le témoignage de ce notable de Manantali, est illustratif : « *La réinstallation a entraîné un*

problème de terres, cela s'explique d'une part par l'arrivée de plus de 30 villages qui étaient en amont du barrage et d'autre part par l'arrivée massive des étrangers pour travailler dans le chantier du barrage. Ces deux facteurs sont à l'origine de la convoitise dont la terre fait l'objet ». Les opportunités d'emploi et du travail ont aussi contribué à la compétition et à la concurrence des terres avec l'arrivée de flux migratoire venant d'horizons divers. Tous ces facteurs n'ont pas été pris en compte dans la planification, ce qui aboutit à une saturation foncière suscitant des malentendus fonciers entre les différents acteurs de l'arène socio-foncière.

Face à ce phénomène de rareté des terres, les paysans adoptent d'autres stratégies de survie. Au nombre de lesquelles l'extension des nouvelles zones de cultures ou la création des hameaux de culture comme l'explique l'extrait de cet entretien du maire de la commune rurale de Diokéli : « *De nos jours, c'est une autre réalité, la zone est surpeuplée, dans ma commune, il n'y a plus de villages qui n'ont pas son hameau de culture faute de terre cultivable. Les terres attribuées sont très insuffisantes et insignifiantes, elles ne peuvent en aucune manière nourrir la population actuelle* ». Les personnes interrogées insistent beaucoup sur l'insuffisance de terres face au besoin immense. C'est dans cette optique que la création des hameaux par les villages réinstallés et les étrangers paraît comme une alternative. Toutefois, ce phénomène divise la population. Les villages hôtes le contestent en estimant que c'est un désordre et une agression de leur environnement. Tandis que l'autre camp y voit une aubaine pour pallier à l'insuffisance des terres agricoles.

Egalement, les acteurs des villages réinstallés sont dans une posture de victimes de la nation. Expropriés, abandonnés leur patrimoine agricole, culturel et cultuel, forcés au déplacement, devenus étrangers et les promesses non tenues sont généralement les registres discursifs mobilisés par les déplacés. En plus de cela, la problématique du foncier à laquelle qu'ils sont confrontés avec leur nouveau statut « étranger » les défavorise dans la distribution des ressources foncières.

3.2 Les types de transactions foncières

Les modalités d'accès aux ressources naturelles sont réglementées par les autorités coutumières en général. La question a été abordée pour saisir les relations entre les acteurs des villages hôtes et ceux déplacés. Les derniers susmentionnés ont été accueillis sur un territoire étranger, désormais comment négocier les nouvelles acquisitions de terres pour les besoins de nouvelles générations. Puisqu'il y a tout un enchâssement d'enjeux autour des ressources foncières. Avec l'avènement de cet ouvrage, le jeu foncier se complexifie, d'autres

acteurs et une diversité des transactions foncières émergent. Les types de transactions foncières pratiqués selon les localités sont entre autres prêt, location, métayage, etc. Le point de vue de ce notable de Manantali est assez illustratif : « *Quand on traverse le fleuve, il y a un périmètre irrigué, la rive gauche du fleuve Bafing, toutes les transactions foncières sont pratiquées dans ce périmètre, exceptée la vente. Il y a la location, le prêt, le métayage, etc. Ce périmètre appartient à l'Etat, ce qui fait qu'il n'y a pas de vente de terre, mais toutes les autres formes de transaction sont pratiquées* ». Ainsi, les terres aménagées sont les plus convoitées puisque c'est un système contrôlé, le rendement agricole est plus ou moins garanti. Les premiers bénéficiaires saisissent cette opportunité pour soustraire leurs lots. Cette rente est l'un des enjeux des périmètres irrigués. En plus, au niveau des zones relativement urbanisées à l'image de Manantali, les transactions foncières marchandes sont développées. Ce qui entraîne toutes sortes de spéculations autour des terres comme les lots à usage d'habitation. Selon un témoin, les terrains sont vendus entre 400 000 F et 500 000F CFA au niveau de la ville de Manantali.

Cependant, le prêt demeure la transaction la plus pratiquée au niveau des villages. Les propos de ce notable de Sobela, un village hôte sont assez édifiants : « *On ne connaît que le système de prêt de terres, les autres types de transactions n'ont pas encore fait leur apparition dans ce village. Le prêt est fait sans contrepartie, mais le propriétaire peut reprendre sa parcelle à tout moment. C'est au moment de reprendre que le problème se pose le plus souvent* ». Mais derrière ce prêt se cache d'autres réalités. Tout d'abord, il instaure des relations d'allégeances et de reconnaissance de la part du demandeur et surtout quand il est étranger. En plus des formalités traditionnelles (cola...), certains propriétaires exigent de plus de plus de l'argent. Du coup, le prêt devient une transaction foncière marchande qui ne dit pas son nom. Cette modalité d'accès à la terre participe aussi à la dégradation des relations, plus elle dure, les prêteurs ont tendance à s'en approprier et en cas de retraits quel que soit les motifs crée des frustrations. Enfin, le prêt installe les prêteurs dans une insécurité foncière et leur empêchant tout investissement.

3.3 Relations foncières

Plusieurs relations se nouent autour des terres. Au début de l'opération, les relations étaient moins tendues. Mais de nos jours une conflictualité s'observe entre les habitants des villages déplacés et ceux des villages hôtes.

3.3.1 Au début : les relations autour de la terre

Dans le cadre de cette réinstallation, il y a des interactions intenses qui lient les déplacés et leurs hôtes dont celles foncières (prêt, don des terres), les relations sociales (mariage, solidarité mécanique...).

Les rapports fonciers sont le centre d'intérêt de cette partie et il se trouve qu'il est l'un des enjeux qui alimente de cette conflictualité entre les acteurs de l'arène socio-foncière. Ainsi, deux registres discursifs sont mobilisés. Il y a ceux qui estiment que les relations foncières étaient détendues entre les villages hôtes et les villages réinstallés et une autre tendance qui considère que la situation était tendue dès le début de la réinstallation. Cependant, la majorité des personnes enquêtées évoquent l'absence des conflits fonciers aux premières heures de l'opération. Les discours de ces interlocuteurs abondent dans le même sens :

Le Maire de la commune rurale de Bamafélé : « *Au début de la réinstallation, il n'y avait pas de difficultés, cette communauté appartient à la même famille, le Bafing est une famille...on ne peut se refuser la terre. Au début, il n'y avait aucun problème, les villages hôtes et ceux réinstallés entretenaient des très bonnes relations, des relations de fraternité, de partage, d'entraide* ». Et quant au Chef de village de Soukoutali, un village réinstallé : « *Il n'y avait pas de problème de terre au départ, les liens de mariages ont contribué à consolider nos relations surtout entre ce village et le village de Dambélé. Mais le projet de réinstallation n'a pas songé à matérialiser les limites entre les villages, c'est surtout ce qui est de nos jours à la base de la plupart des litiges* ».

Cette relative cohésion sociale au début réside dans les conceptions des traditions africaines et particulièrement maliennes à travers son concept de "Diatiguiya" qui accorde une attention particulière aux étrangers. Dans les représentations sociales de la population locale, l'accueil de son prochain est une obligation morale à laquelle elle ne peut pas se soustraire. Surtout le cas de ces déplacés involontaires qui étaient contraints d'abandonner leurs terres ancestrales pour l'intérêt national. Il y a aussi le sentiment d'appartenance au même terroir chez les deux catégories d'acteurs. Un facteur déterminant aussi, la disponibilité des terres par rapport au besoin des ménages. La zone étant à l'époque faiblement peuplée (moins de 5 habitants au km²) et la pression animale y étant faible du fait de la présence de la mouche tsé-tsé.[1]. Aussi, les promesses de l'amélioration des conditions de vie suite à la construction de cette infrastructure suscitaient un espoir chez les déplacés et les hôtes. Le barrage était perçu comme un tremplin pour réduire la pauvreté qui sévissait dans la zone.

En revanche, d'autres acteurs soulignent qu'au début de l'installation déjà, la situation était crispée entre certains villages hôtes et ceux réinstallés. Certains villages accueillants étaient réticents à la cohabitation avec d'autres populations. Comme l'illustre les propos de ce notable de Haradala, village hôte : « *Nos relations de la réinstallation à*

nos jours ont été toujours des relations conflictuelles, cela s'explique par le fait qu'on a été envahi sur la terre de nos ancêtres. Cette réinstallation n'a créé que de la désolation, actuellement nous partageons notre terroir avec plus de 5 villages réinstallés, ce qui fait que les conflits sont inévitables ». Le fait de partager leur terroir avec d'autres était perçu comme un envahissement par d'autres villages hôtes. L'enjeu principal demeure les ressources naturelles qui seront réparties entre eux et leurs désormais cohabitants. Certains villages accueillants décrivent l'inégale répartition des villages déplacés comme ce village qui a dû partager son terroir avec plusieurs villages déplacés. A ce titre, le problème est d'ordre sociologique, la zone initiale retenue était Manantali-Mahina longue de 80 km comme site d'accueil. Puisque les villages à déplacer étaient tous des malinké du Bafing, ils ont refusé de quitter dans la limite de leur aire culturelle qui se situe dans l'arrondissement de Bamafélé. Donc une zone assez exiguë par rapport à l'axe Manantali - Mahina. Cette opération est également apparue selon certaines personnes enquêtées comme une menace sur la cohésion sociale avec les éventuels conflits liées aux activités agricoles et pastorales. Dans le même ordre d'idées, d'autres villages réinstallés étaient opposés à leur recasement, c'est ainsi que certains villages après leur installation ont décidé de retourner à leur ancien site. Par conséquent la situation se détériore de plus en plus entre les différentes catégories d'acteurs.

3.3.2 Maintenant : conflits, litiges fonciers

De nos jours, les relations entre les différents acteurs de l'arène socio-foncière sont empreintes des tensions et des conflits fonciers d'après les enquêtés. Plusieurs facteurs sont évoqués pour justifier cet état de fait. Parmi lesquels l'accroissement démographique qui contribue beaucoup à ce malaise social. La zone attire aussi des migrants à la quête des terres et des opportunités d'emploi. Toute chose qui accentue la pression sur les ressources. Les propos de ce notable de Kéniékénéidala, un village hôte en disent long sur la situation qui prévaut actuellement : *« C'est l'accroissement de la population qui est à l'origine du problème, de 1986, date de réinstallation des derniers villages, la population s'est multipliée par 7 voire 8, plusieurs générations ont vu le jour pendant ce temps. Les parcelles attribuées ne suffisent plus »*. La dynamique démographique avec son corollaire de pression foncière est un des facteurs de conflit entre les villages hôtes et les villages réinstallés. A ce niveau, deux registres discursifs sont mobilisés pour légitimer leur posture. D'une part, les hôtes ont le sentiment d'être envahi sur les terres de leurs ancêtres et certains vont jusqu'à attribuer leur malheur à ces déplacés involontaires. Cette perception négative compromet davantage le vivre ensemble. D'autre part, la plupart de déplacés ont

regretté leur délocalisation. Entre temps, les familles ont connu une évolution exponentielle. Cette dynamique démographique est également source de tensions entre les déplacés et leurs hôtes.

Autre enjeu, la compétition autour des terres agricoles cristallise toutes les mésententes entre les différents acteurs de l'arène foncière, les terres étant insuffisantes face à l'explosion démographique. La plupart de conflits fonciers rapportés tournent autour de terres agricoles. Les villages hôtes sont dans une dynamique de durcir les conditions d'accès de terres tandis que les déplacés estiment qu'ils ont droit à défricher des nouvelles terres au même titre que ces derniers. Cela est un facteur de trouble social. Aussi, les disputes sur les limites géographiques entre les villages accueillants et les villages réinstallés portent préjudices à la cohésion sociale, la non matérialisation de limites, un facteur d'incompréhension. Il faut signaler l'arrivée des flux migratoires qui convoitent les terres agricoles. Dans le même sens, la création des hameaux de cultures est très mal perçue par les villages hôtes. Enfin, les zones de pâturages constituent un véritable casse-tête. Avec l'installation des villages déplacés, les zones de pâturages et celles de cultures sont presque imbriquées. Les couloirs de passage des animaux sont empiétés alors qu'il y a une concentration des troupeaux dans la zone. A ce niveau, des heurts entre les agriculteurs et les éleveurs sont signalés suite à des divagations des animaux. La combinaison de toutes ces causes sont les sources des conflits qui compromettent la quiétude entre des frères de la même aire culturelle.

De façon générale, les relations entre les villages hôtes et ceux déplacés se dégradent de plus en plus. Ainsi, les autochtones ont le sentiment d'être envahi, la prédation de leurs ressources naturelles. Tandis que les déplacés pour la plupart ont un sentiment d'amertume et de regret. Des discours tels que trahison, expropriation, promesses non tenues, statut d'étranger, nostalgie de leur passé, marginalisés, détestés sont évoqués généralement par ces derniers pour dénoncer leurs conditions de vie et leurs rapports avec leurs hôtes. Les autorités du pays sont pointées d'un doigt accusateur dans cette situation par la plupart des acteurs interrogés.

3.4 Les différentes stratégies face aux besoins croissants en ressources naturelles de la population

Le déplacement des populations à la suite de la construction du barrage de Manantali a entraîné un besoin croissant en ressources naturelles, cela s'explique par une forte concentration de la population au niveau du nouveau site où cohabitent à la fois, les villages hôtes et les villages déplacés. Ainsi, face à cette situation, diverses stratégies sont utilisées par les populations en vue de pallier aux

besoins en ressources naturelles parmi lesquelles, il y a la création des hameaux de culture, la rotation de culture, l'utilisation de la fumure organique, la migration, la reconversion socio-professionnelle.

3.4.1 Les stratégies de la population hôte

Les villages hôtes pratiquaient l'agriculture, l'élevage, la pêche, la cueillette, etc. Ils vivaient dans un environnement spacieux qui leur permettait d'exercer librement ces différentes activités sans restriction. Mais avec l'avènement du barrage, ils étaient obligés de partager leur terroir avec les villages déplacés. Cette situation a bouleversé le mode de vie de la population hôte. Elle était obligée de créer d'autres stratégies pour assurer sa survie. Tout d'abord, la création de hameaux de culture est l'une des stratégies la plus utilisée actuellement par les villages hôtes. Comme illustre les propos de ce notable de Haradala, M.K : *« L'unique stratégie que nous avons pour le moment est la création des hameaux de culture et même là, c'est compliqué. Pour créer un hameau actuellement, il faut aller jusqu'à 30 voire 50 km d'ici. A ce niveau, nous avons des contraintes, la distance constitue un obstacle, s'il faut produire et transporter les vivres dans des zones très distantes et enclavées, c'est du calvaire »*.

En outre, la création des hameaux de cultures procède de la pratique agricole de la population locale qui est basée sur l'agriculture extensive, consommatrice d'espaces. Cette nouvelle dynamique prend de l'ampleur dans un contexte de surpopulation humaine et de convoitise des terres par d'autres acteurs non prévus par le projet de recasement. Il s'agit des migrants agricoles et des pasteurs transhumants attirés par les potentialités de la zone. Il résulte aussi de la pauvreté de terres épuisées par manque de jachères. Cette stratégie, malgré qu'elle reste la plus pratiquée connaît des nombreux obstacles comme l'impraticabilité des pistes rurales pendant certaines périodes de l'année, le manque d'infrastructures sociales de base, etc. Les hameaux sont situés le plus souvent sur la partie montagneuse du site du barrage. Ils sont de deux types, les hameaux permanents et les hameaux temporaires. Les premiers abritent une population plus ou moins importantes et restent administrativement rattachés à leur village d'origine. Quant aux seconds, ils sont des lieux de production et ne sont habités que pendant quatre à cinq mois de l'année. Avec le problème d'exiguïté de terres, les hameaux sont les lieux favorables à la fois à l'agriculture et à l'élevage. Compte tenu de l'exiguïté de terres cultivables, les hameaux sont devenus des lieux de cohabitation entre populations autochtones et populations déplacées.

Ensuite, La surexploitation et l'exiguïté des terres poussent la population à l'utilisation de la fumure organique. Cette technique, bien qu'endogène est de plus en plus utilisée par une grande partie des

producteurs pour fertiliser les espaces surexploités. Cela s'explique d'une part par le coût élevé des engrais chimiques et d'autre part par le fait que ce milieu est une zone d'élevage par excellence. Cette pratique a l'avantage de pallier à la pauvreté des sols et les protéger. Selon ce notable de Kéniékéniédala M.K : *« Nous utilisons la fumure organique en vue de fertiliser les endroits surexploités, car sans la fumure organique il est difficile de faire une bonne production »*. L'usage des engrais organiques s'inscrit également dans une logique économique pour augmenter la production agricole. Un enjeu majeur dans les milieux ruraux qui dépendent exclusivement des revenus tirés de l'agriculture. Ce recours à cette pratique est facilité par la disponibilité des produits locaux mais aussi la cherté des fertilisants chimiques, hors portée des bourses moyennes.

Puis, l'exploitation du périmètre irrigué est aussi une stratégie pour une partie des populations pour subvenir à leurs besoins essentiels. Ainsi, l'État dans sa politique d'atténuation des effets négatifs de la construction du barrage à réaliser à travers le Projet de Développement rural Intégré en Aval du barrage de Manantali, un périmètre sur la rive gauche du fleuve Bafing. Compte tenu de la mauvaise qualité de l'aménagement et la distance qui le sépare de la plupart de villages, cet aménagement n'a pas pu susciter de l'engouement au sein des producteurs. Le chef du village de Sobela, M.D réagit en ces termes : *« En plus des autres stratégies, s'ajoute l'exploitation du périmètre, nous avons des petites parcelles qui nous permettent de pratiquer le maraîchage comme culture de contre saison. Mais, très peu de personnes choisissent cette stratégie car les parcelles sont mal aménagées, le système de drainage des eaux est défaillant »*. Le périmètre irrigué souffre de problèmes techniques qui dissuadent les paysans, conséquence, certains l'ont abandonné. Il faut ajouter le manque de concertation et de consultation des bénéficiaires dans la réalisation de certaines actions pourrait expliquer les problèmes soulevés. Plus loin, depuis, la plupart de paysans boudaient le périmètre, parce qu'ils n'étaient pas initiés à cette nouvelle pratique. Puisque dans la zone, avant l'avènement du barrage, leur domaine de prédilection était les cultures sèches. Sans compter les charges à honorer comme la redevance eau deviennent insupportables pour les paysans moins nantis.

Néanmoins, ce sont les quelques rares personnes nantis et majoritairement des autochtones travaillant dans les entreprises locales qui exploitent le périmètre. A cela s'ajoute une poignée d'autochtones qui pratique le maraîchage comme activité de contre-saison. Cette situation s'explique par le fait que l'exploitation de parcelle demande des

réaménagements nécessitant des moyens financiers importants.

La population vivait essentiellement de l'agriculture et de ses activités connexes, mais avec la construction du barrage, d'autres activités ont fait leur apparition. C'est le cas du commerce, de la menuiserie, du gardiennage, de la maçonnerie, de la mécanique, etc. Ainsi, l'exiguïté des terres cultivables a poussé une partie de la population à se convertir dans ces activités informelles. Parmi les acteurs évoluant dans ce secteur d'activité figurent les jeunes. Cette couche est beaucoup plus attirée par les activités ayant trait à la modernité et s'est reconvertie davantage pour subvenir à ses besoins.

3.4.2 Stratégies de la population déplacée

Les villages déplacés sont confrontés aux mêmes problèmes que les villages hôtes. Ils sont divisés entre deux sites distincts. Les premiers sont majoritaires, réinstallés en aval du barrage, ils partagent le même espace que les villages hôtes. Quant aux seconds, ils sont restés en amont du barrage et leur site de recasement est distant du lac du barrage. L'un dans l'autre, ils ont été arrachés de leur milieu naturel et font face actuellement à un problème criard des ressources naturelles notamment la terre. Le projet de réinstallation avait à l'époque priorisé le recasement et la réalisation d'infrastructures au détriment des besoins en ressources naturelles. Ainsi, face à cette situation, ces villages ont initié différentes stratégies pour faire face aux besoins croissants en ressources naturelles.

Tout comme les populations des villages hôtes, les déplacés ont aussi opté pour la création des hameaux de culture. Selon le point de vue de ce notable B.D de Farabanding : « Généralement, ceux qui veulent pratiquer l'élevage sont obligés d'aller s'installer dans les hameaux de culture, faute d'espace pour le pâturage. C'est la seule alternative sinon, nous n'avons pas d'autres solutions. Actuellement, tous ceux qui veulent pratiquer l'élevage et l'agriculture à la fois, sont obligés de s'éloigner des villages pour être à l'abri des conflits. Et d'ailleurs ce sont ces producteurs qui arrivent à faire des bonnes récoltes ». En effet, contrairement aux villages hôtes, les populations déplacées sont confrontées au problème de site pour la création des hameaux de culture. C'est pourquoi, certains retournent dans leur ancien site et d'autres partent s'installer dans la forêt de Boya, qui n'était pas habitée au moment de la réinstallation. La majeure partie des actifs résident dans les hameaux de culture surtout pendant la période hivernale où le besoin en terre agricole s'accroît. La création des hameaux soulève des préoccupations d'ordre environnemental mais des tensions socio-foncières entre les déplacés et leurs hôtes. D'abord, s'installer dans une forêt suppose la destruction d'un écosystème avec ses effets néfastes. Les autochtones n'apprécient pas ce nouveau système qui échappe à

leur contrôle. Dans leur logique, les déplacés et les étrangers sont sous leur tutelle. Pour toute initiative, ils doivent recueillir leur assentiment. Hors, tel n'est pas le cas chez les déplacés. Toute chose qui dégrade les relations entre les hôtes et les déplacés.

En plus de cette stratégie, une partie importante de la population part en migration. La mauvaise pluviométrie, l'insuffisance des terres agricoles, etc. entraînent le départ massif de ces populations notamment les jeunes vers les zones d'orpaillages. Les destinations sont les mines d'or des zones de Kenieba, Kangaba, Sikasso, etc. Comme l'explique ce conseiller villageois F.K de Farabanding : « De plus en plus les jeunes partent en migration, c'est pour eux une alternative, surtout ce sont les zones d'orpaillage qui sont leur destination. [...]. L'orpaillage attire de plus en plus la jeunesse..., généralement c'est ce dernier qui vient en aide pendant la période de soudure. La jeunesse a tendance à abandonner l'agriculture au profit de l'orpaillage et de la migration ». Ainsi, l'orpaillage constitue pour les jeunes un moyen qui leur permet non seulement d'investir mais aussi de garantir la survie de leurs familles restées sur place. En plus des zones d'orpaillage, certains partent dans les grandes villes comme Bamako et Kayes, d'autres partent hors des frontières, dans les pays voisins, voire l'Europe. Les ressources issues de la migration contribuent à pallier au déficit de production. Les opportunités de revenu non agricole demeurent actuellement celles qui attirent plus d'actifs.

Enfin, l'utilisation des engrais chimiques est pratiquée par une partie de la population et paraît aussi comme une stratégie pour améliorer la productivité. Avec la dynamique démographique, la population déplacée a presque triplé pendant ces trente dernières années, la taille de la population est maintenant largement au-dessus des parcelles attribuées au lendemain de la réinstallation. Cette situation a entraîné une surexploitation des terres contraignant les agriculteurs à faire recours aux engrais chimiques. De plus en plus l'utilisation des engrais devient contraignante pour les agriculteurs compte tenu de la pauvreté des sols. Mais avec son coût exorbitant sur le marché, nombreux sont ceux qui font recours à d'autres fertilisants.

A la lumière de ces données collectées sur le terrain, il est à retenir que les populations hôtes aussi bien que celles déplacées utilisent diverses stratégies pour faire face aux multiples besoins en ressources naturelles comme la création des hameaux, l'usage des engrais organiques, l'orpaillage, la migration, etc. Les stratégies varient selon les générations, l'ancienne continue d'œuvrer dans le sens du maintien des activités agricoles et la nouvelle se reconvertit et s'adonne à la pratique des métiers du secteur secondaire et part de plus en plus en migration.

3.5 Mécanismes de résolution de conflits fonciers

Le déplacement d'une cinquantaine des villages et hameaux a entraîné une forte pression sur les ressources naturelles notamment la terre. Les villages hôtes se voyaient dans l'obligation de partager leur terroir avec les déplacés. Avec la dynamique démographique, les parcelles attribuées pendant la réinstallation aux villages déplacés ne répondent plus aux besoins actuels. Les parcours de bétail initialement prévus sont désormais occupés par des champs de culture. On assiste à la multiplication des conflits d'une part entre villages hôtes et villages réinstallés et d'autre part entre agriculteurs et éleveurs.

Dans la même dynamique, face à cette situation, deux types de droit s'appliquent, il s'agit du droit coutumier et du droit positif. Pour le premier cas, les communautés ont une certaine emprise sur leur terroir. Cette responsabilité incombe aux propriétaires terriens, plus précisément la chefferie traditionnelle qui est le garant et veille sur la répartition équitable de la terre entre les habitants et sa bonne gestion. En ce qui concerne le second, il est du ressort de l'administration (services décentralisés, déconcentrés, juridique). Comme le témoigne le sous-préfet de Bamafélé : *« S'il y a un conflit quel que soit sa nature, le plus souvent les communautés cherchent elles même à trouver toujours un terrain d'entente, c'est quand elles n'arrivent pas à s'entendre qu'elles font recours à l'autorité administrative, c'est-à-dire le maire, le préfet, le sous-préfet, etc. On travaille ensemble et puis on arrive à trouver toujours une solution »*.

Selon les points de vue recueillis, les instances de gestion des conflits fonciers sont entre autres, la chefferie traditionnelle à travers le chef de village et ses conseillers, l'autorité communale et les services déconcentrés de l'Etat. Il y a deux niveaux à savoir l'instance communautaire et l'autorités décentralisées et/ou déconcentrées. En plus de la chefferie traditionnelle et des services décentralisés et déconcentrés, l'autorité judiciaire constitue également une voie de recours en matière de gestion de conflits fonciers. Face à la recrudescence des tensions et conflits fonciers, le recours aux instances modernes de gestion des conflits rentre dans les mœurs. Il faut rappeler, l'avènement du barrage a induit une recomposition sociale dans la zone et cela n'est pas sans conséquences sur les normes sociales. Il y a aussi une crise de confiance incite le recours à ces instances. Puisque, les instances traditionnelles sont perçues comme partielles souvent par les différents acteurs bipolarisés. Il s'agit des déplacés et des hôtes. Des suspicions sont nourries de part et d'autre ; chacun estime que l'autre a tranché en faveur de sa communauté. Ce qui rend la situation très délétère.

3.5.1 Modes endogènes de résolution de conflits

Les communautés sont liées par des liens séculaires (parenté, d'intermariage, d'entraides économiques et d'échanges divers). A ce titre, la gestion foncière est en rapport avec le système d'organisation, la terre est le facteur de production le plus précieux et qui cristallise toutes les tensions entre les différents acteurs de l'arène socio-foncière[3]. Sa gestion est assurée par les chefs de terre, ces derniers, en tant que premiers responsables sont chargés du partage des terres entre les différents chefs de famille. Les règles traditionnelles de gestion des terres ne confèrent pas de droit de propriété mais d'exploitation pour les non autochtones.

En revanche, le concept de propriété s'applique intégralement à l'arbre planté qui est admis dans la liste des biens pouvant être légués. Ainsi, la plantation d'arbre est perçue comme un moyen d'appropriation de la terre. C'est pourquoi, les autorités traditionnelles sont réticentes pour la pratique de cette activité sur les parcelles prêtées à des nouveaux venus. Selon les principes du droit coutumier, l'instance traditionnelle de gestion de conflits fonciers est formée par les propriétaires terriens et l'institution du conseil villageois. Leurs décisions s'appliquent sur l'ensemble du terroir relevant de leur maîtrise foncière. Les décisions sont rendues dans les vestibules et souvent sans appel. Selon le chef de village M.D de Sobela : *« Les problèmes liés à la gestion foncière sont synonymes des problèmes de famille. S'il y a un problème dans une famille, les membres de ladite famille doivent discuter entre eux et trouver une solution. Quelqu'un avec qui tu entretiens un lien de mariage et que la gestion d'une parcelle vous oppose, pensez-vous que vous aurez le courage de le convoquer à la justice ? »*.

Les liens existants sont mis en avant pour prévenir et/ou gérer la majeure partie des conflits fonciers, ils sont des facteurs de paix et de stabilité. Cependant, il faut reconnaître qu'avec les mutations, l'arrivée massive des autochtones, la multiplication des entreprises et des projets liés au barrage, de plus en plus l'autorité traditionnelle est entraînée d'être remise en cause. Selon le sous-préfet A.B de Bamafélé : *« Actuellement, les vestibules ne suffisent plus parce que si les gens qui vont dans les vestibules n'y croient même pas. C'est ça le problème, les chefs de village sont décriés des fois par la population même. Avec la démocratie là, il n'y a plus de respect, les chefs de village ne sont plus respectés »*. L'autorité des instances coutumières s'effrite dans ce contexte de transformations sociales et politiques. La zone a attiré depuis de flux migratoire important en plus des déplacés involontaires. Cette coexistence de plusieurs normes et des logiques vont influencer toutes les institutions sociales traditionnelles. Egalement, le contexte politique actuel "démocratique" a eu aussi des répercussions sur les

sociétés traditionnelles et qui occasionne en partie la désuétude des instances locales en la matière.

3.5.2 Approche formelle de résolution de conflits

Jadis, ignoré par les communautés, le droit positif paraît de plus en plus comme moyen de résolution des conflits. Il est distribué par les instances modernes (gendarmerie, justice, l'administration). Les protagonistes font recours à cette approche formelle qui commence à s'enraciner dans les mœurs. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette situation. D'abord le projet de réinstallation n'a pas tenu compte des suggestions faites par les autochtones qui consistaient à éloigner les villages les uns des autres, à préserver les espaces de pâturage et des réserves de terres. Ainsi, le non-respect de ces consignes est à la base de la plupart des conflits fonciers d'où l'implication des autorités administratives et juridiques.

Généralement, c'est l'autorité communale qui est le premier médiateur. Mais, elle peine des fois à concilier les parties opposées c'est pourquoi elle fait appel au sous-préfet, voire au préfet. C'est ainsi que ces autorités travaillent en étroite collaboration pour la prise en charge des conflits fonciers. Pour la plupart de cas, les solutions proposées sont éphémères, elles ne prennent pas en compte les préoccupations réelles des populations et du coup, elles sont contestées. Ce qui pousse les acteurs à solliciter les juridictions ; le tribunal de Bafoulabé et la cour d'appel de Kayes sont les plus cités. Ce choix s'explique par les tensions permanentes entre villages hôtes et villages réinstallés.

C'est ainsi qu'un notable de Haradala M.K réagit dans le même sens : « *Je ne veux même pas me prononcer sur ce point! Nous avons l'habitude de faire 3 ans de procès, on faisait la navette entre Bamafélé, chef-lieu d'arrondissement et Bafoulabé, chef-lieu de cercle. De la réinstallation à nos jours, nous avons fait plus de 10 procès. Je ne veux vraiment pas me prononcer sur ce sujet.* ». Il ressort dans les discours que la complexité et le temps des procédures judiciaires, la distance qui sépare la zone des chef lieux de cercle et de région poussent souvent les acteurs des conflits à la résignation. La superposition des droits, le nombre important d'acteurs et des structures impliquées dans l'arène socio-foncière compliquent de plus en plus la gestion des terres et les relations entre villages hôtes et villages réinstallés. Le droit coutumier est taxé d'informel et le droit positif contribue à disloquer les liens séculaires.

CONCLUSION

En guise de conclusion, les terres agricoles attribuées aux ménages déplacés depuis plus de 30 ans ne répondent plus aux besoins actuels. Egalement, avec l'avènement du barrage, la zone accueille des flux importants des étrangers en quête des terres et des

opportunités d'emplois. A cela s'ajoute l'accroissement démographique, tous ces facteurs ont rendu les terres insuffisantes en occasionnant de compétitions et de convoitises entre les différents acteurs autour des ressources naturelles. Ce qui débouche de plus de plus à de conflits entre les déplacés et les hôtes.

Ainsi, les acteurs des villages réinstallés sont dans une posture de victimes de la nation. Expropriés, abandonnés leur patrimoine agricole, culturel et matériel, forcés au déplacement, devenus étrangers et les promesses non tenues sont généralement les registres discursifs mobilisés par les déplacés. Du côté des villages hôtes, ils sont le sentiment d'être envahis sur leurs terres ancestrales, les promesses non tenues par les autorités. L'accumulation de frustrations de part et d'autre et l'émergence des enjeux fonciers sont les facteurs déterminants de cette conflictualité entre les acteurs du jeu foncier.

Sur un autre plan, pour la résolution des conflits fonciers, les acteurs font recours aux mécanismes endogènes et modernes. Cependant, compte tenu de suspicion et de crise de confiance au sein des instances traditionnelles, les réinstallés et les déplacés sollicitent de plus en plus les tribunaux pour trancher les différends. Face à la raréfaction des ressources naturelles, les déplacés et les migrants développent des stratégies de diversification de revenus.

En terme de recommandations :

- Les collectivités locales doivent procéder à une nouvelle répartition des terres entre les villages déplacés et hôtes pour une justice sociale ;
- Aménager des nouvelles terres pour absorber la forte demande en terres cultivables.
- Engager des réformes visant une sécurisation et une formalisation foncière des droits sur les terres pour des usagers.

REFERENCES

- [1] Y. Ficatier et M. Niasse, « Volet social et environnemental du barrage de Manantali: Evaluation rétrospective », AFD, Expost 15, août 2008.
- [2] A. Blanchet et A. Gotman, L'entretien. Paris: Armand Colin, 2015.
- [3] J.-P. Chauveau et J.-P. Jacob, Modes d'accès à la terre, marchés fonciers, gouvernance et politiques foncières en Afrique de l'Ouest. IIED, 2006.
- [4] D. Koenig et T. Diarra, « Les enjeux de la politique locale dans la réinstallation : stratégies foncières des populations réinstallées et hôtes dans la zone du barrage de Manantali, Mali », autrepant, vol. 5, p. 29- 44, 1998.

[5] N. Robin et B. Ndione, « L'accès au foncier en Casamance L'enjeu d'une paix durable ? », p. 15, 2006.

[6] M. M. Cernea, « La sociologie des déplacements forcés : un modèle théorique », *Autrepart*, no 5, p. 11- 28, 1998.

[7] J.-P. Colin et M. AYOUZ, « Emergence, enchâssement social et involution du marché foncier. Perspectives ivoiriennes », *IRD/REFO*, 12, 2005.

[8] A. Kadjo, A. E. N. Yoro, et K. M. Traoré, « Analyse des interactions foncières conflictuelles à Fingolo dans l'ouest de la cote d'ivoire », *Kafoudal*, vol. 1, no 2, p. 109- 128, 2019.

[9] P. N'da, *Recherche et méthodologie en sciences sociales et humaines: réussir sa thèse, son mémoire de master ou professionnel, et son article*. Editions L'Harmattan, 2015.

[10] L. Yeo, *Guide pratique de rédaction et de présentation d'un travail de recherche*. Editions L'Harmattan, 2012.

Impacts des intrants chimiques sur la qualité physico-chimique des sols, des eaux de surface et de profondeur en zone rizicole de l'Office du Niger au Mali

Demba COULIBALY^{1*}, Brahima B TRAORE², Boubacar TRAORE², Binéfo KONE², Drissa SAMAKE³, Kalifa KEITA¹

¹USTTB/ Faculté des Sciences et Techniques, Mali

²USTTB/ Institut des Sciences Appliquées, Mali

³Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique, Mali

*Courriel de l'auteur de correspondance: dembacouli@yahoo.com

Résumé : La zone office du Niger est la zone rizicole du Mali, une zone d'irrigation par excellence. L'agriculture intensive s'accompagne d'utilisation accrue d'intrants agricoles.

Au Mali, l'apport d'engrais au sol, n'est généralement pas précédé d'études préalables sur les propriétés des sols exploités (1).

Ainsi, pour l'amélioration du rendement de leurs cultures, les agriculteurs font recours à la fertilisation minérale, à l'utilisation des pesticides et des fongicides. La difficulté de la fertilisation minérale pour les paysans est de déterminer la juste dose à appliquer pour obtenir un rendement optimal. La mauvaise application des pesticides et fongicides ou leur utilisation prolongée a un impact négatif l'environnement et sur la qualité des produits. Ces pratiques agricoles nous conduisent également à la dégradation et à la pollution du sol, des eaux de surface par ruissellement et des eaux souterraines par infiltration et par lessivage (2) (3) (4).

L'objectif visé à travers ce travail a été de faire un diagnostic du risque de pollution environnementale, conséquence de l'utilisation des intrants chimiques dans l'office du Niger (Zone de Niono, casier rizicole de Koya Pékèna).

Pour réaliser ce travail des échantillonnages d'eau de surface, de profondeur et de sols, ont été effectués sur trois parcelles dans la zone office du Niger pendant la contre saison.

Les analyses ont porté sur les paramètres physico-chimiques tels que, le pH, la température, la turbidité, la DCO, la DBO₅, les nitrites, les nitrates, les phosphates, les sulfates, l'ammonium, la conductivité et les métaux pour les eaux. Les résidus de pesticides, quelques métaux lourds (Pb, Cu, Fe, Co, Cr, Zn), la granulométrie et les bases échangeables ont été analysés dans les sols. Les analyses ont été effectuées dans les laboratoires de l'ISA, LCV et IER (laboratoire sol-eau-plante).

Certains paramètres physico-chimiques étudiés dans ces zones ont donné des signes de pollutions environnementales tel que : les valeurs très basses de pH (Sols : 3,81 ; 4,13 ; 4,35... Eaux : 5,52 ; 5,58 ; 5,82...) et les valeurs élevées des métaux lourds (Pb, Cr, Fe, Cd).

Par contre d'autres respectent les normes maliennes ainsi que les directives données par l'OMS : Nitrites, Nitrates, Sulfates, Ammonium, Température.

Certains pesticides recherchés ont été trouvés (Heptachlore et DDT op'), tandis que d'autres tels que Endosulfan, Dieldrine, Endrine, Lindane n'ont été retrouvés. Comparés aux normes Maliennes et aux directives données par OMS, les résultats des analyses ont montré que l'eau de surface, des profondeurs et les sols de la zone sont dégradés en grande partie par les engrais et les pesticides utilisés en riziculture.

Mots clés : Impact, Intrants chimiques, qualité, Eaux ; sols.

1. INTRODUCTION

Pour accroître la productivité des sols dans les écosystèmes irrigués intensivement cultivés, les riziculteurs des régions très densément peuplées devraient chercher à améliorer l'efficacité de la forte utilisation des engrais minéraux et des pesticides. Cela peut contribuer à préserver l'environnement en limitant les risques de pollution de la nappe phréatique par les nitrates et d'eutrophisation des cours d'eau, et à augmenter ou à stabiliser les marges bénéficiaires des producteurs (5).

Les engrais organiques ou minéraux, lorsqu'ils sont appliqués en trop grande quantité par rapport aux besoins des plantes et à la capacité de rétention des sols, constituent des causes majeures de la pollution de l'eau de consommation (la toxicité des nitrates ou l'eutrophisation des eaux douces et marines) à travers le lessivage des éléments solubles vers la nappe phréatique, ou vers les cours d'eau par ruissellement.

L'application des pesticides (produits phytosanitaires) peut aussi présenter des risques pour

les ressources en eau soit par contamination ponctuelle lors de la manipulation des produits (débordement de pulvérisation en bout de champ, mauvaise gestion des fonds de cuve, remplissage ou rinçage des pulvérisateurs) ou lors de l'entreposage (fuite) (4). La pollution intervient en général par contamination diffuse après application des produits, par ruissellement vers les eaux de surface ou par infiltration vers les eaux souterraines. Les effets des produits phytosanitaires sur les eaux et sur les sols sont étudiés par analyse de leur toxicité et de leur processus de dégradation dans l'eau (effet de rémanence) ou de leur influence sur les poissons. Des quantités de plus en plus importantes de produits chimiques sont utilisées à l'Office du Niger (zone de Niono) sous forme d'engrais et de pesticides (6). Cela a permis d'augmenter les rendements par l'utilisation combinée de variétés plus productives, de moyens plus efficaces de protection des cultures et d'une meilleure gestion de l'eau. Cependant, des voix s'élèvent aujourd'hui contre l'impact de l'intensification sur l'environnement dans cette zone. En effet, les intrants utilisés permettent d'augmenter la productivité, mais constituent également des sources de pollution car contiennent différentes formes d'azote, de phosphore et de pesticides, susceptibles d'affecter dangereusement l'environnement et la santé. Par ailleurs, l'irrigation gravitaire est une grande consommatrice d'eau. Elle pose le problème du contrôle de la dose apportée en termes d'ajustement entre l'offre et la demande en eau. Elle pose également le problème de la régularité de la répartition de l'eau entre différentes parcelles, cause de fortes hétérogénéités et crée les conditions favorables à la pollution des sols et des ressources en eau (7). C'est ainsi que nous nous sommes fixé comme objectif : Contribuer au diagnostic du risque de pollution environnementale dû aux conséquences de l'utilisations des intrants chimiques dans la zone office du Niger (Zone de Niono, casier rizicole de Koya Pékèna).

2. MATERIEL ET METHODES

2.1 Matériel

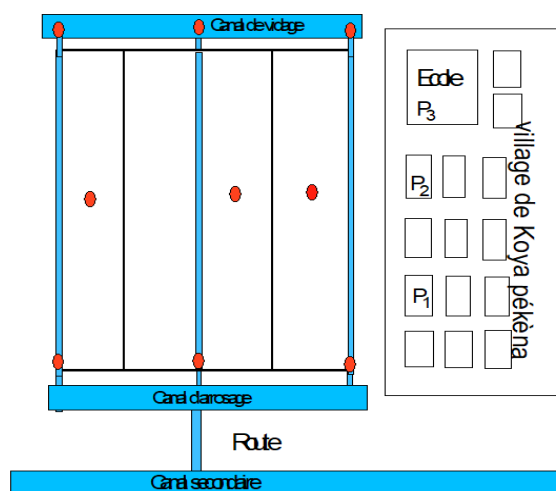


Figure 1 : Schéma d'échantillonnage

LTCQE ont été utilisés pour l'analyse des résidus de pesticides.

Le pH mètre : Hanna instruments HI 22 10 a servi pour la détermination de pH;

Le spectrophotomètre d'absorption atomique : PerkinElmer AAnalyst 400 a été utilisé pour l'analyse des métaux lourds dans les échantillons d'eaux.

Le spectrophotomètre Lambda 40 / UV/ VIS : PerkinElmer B 2000067 a servi pour l'analyse de nitrate, nitrite et ammonium;

Le spectrophotomètre à Flamme : Models PFP7 pour l'analyse des cations;

La balance Analytique 260g/0 d=0,001 OHAUS Adventurer Pro AV264C a servi pour la pesée ;

Un réacteur programmable pour les analyses de DCO ;

L'évaporateur rotatif de marque Heldolph WB eco a servi à concentrer les échantillons pour l'analyse des pesticides ; Les Chromatographes en phase gazeuse et Chromatographes 7890A du

2.2 Méthodes

2.2.1 Echantillonnage

L'échantillonnage a été effectué à Niono dans les casiers rizicoles de Koya Pékèna pendant la contre saison (de Janvier à Avril) sur trois parcelles chez trois paysans. Un échantillon d'eau et un échantillon de sol ont été prélevés à la sortie du canal d'arrosage, au milieu du champ et dans le canal de vidage de chaque paysan (soit 9 échantillons d'eaux et 9 échantillons de sols). Les échantillons d'eau de surface sont représentés par E et les échantillons sols par S. Trois échantillons d'eau de puits (eau souterraine) ont été prélevés aux alentours des parcelles et sont représentés par P. Le nombre total des échantillons s'élève à vingt-un (21) dont neuf (9) échantillons de sols et douze (12) échantillons d'eaux.



Figure 2 : Carte de la zone d'étude (8)

2.2.2 Analyses

Les analyses ont porté sur les paramètres physico-chimiques suivants: pH; température; turbidité; DBO₅; DCO; nitrites; nitrates; phosphates; sulfates; ammonium; conductivité; quelques métaux lourds (Fe, Cr, Pb, Cd, Cu, Mn, Zn, Co, Ni), les bases échangeables; granulométrie et quelques pesticides.

Le pH, la température, la conductivité et la turbidité ont été mesurés sur les terrains.

✚ Demande chimique en oxygène

En milieu acide sulfurique et en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure, certaines matières contenues dans l'eau (les dérivés aromatiques échappant à cette action) sont oxydées par un excès de dichromate de potassium. L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de fer (II) et d'ammonium (sel de Mohr).

✚ Demande biologique en oxygène à 5 jours

Nous avons placé une quantité d'eau à analyser dans une bouteille (flacon à DBO). Au-dessus de l'échantillon se trouve un volume d'air contenant pratiquement 1/5 de dioxygène. C'est ce dioxygène qui remplacera celui de l'eau consommée par les bactéries pendant la durée de l'expérience.

Le gaz carbonique formé par la respiration des bactéries est extrait du milieu gazeux à l'aide de quelques pastilles de potasse ou de soude contenues dans le bouchon. La dépression due à la consommation de dioxygène est mesurée sur la tête de l'oxitop et la valeur correspondante en DBO est lue directement en mg/L.

✚ Analyse des nitrites

L'acide sulfurique en milieu chlorhydrique, en présence d'ion ammonium et de phénol, forme avec les ions NO₂⁻ un complexe coloré jaune dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en nitrites. Pour une prise d'essai de 50 mL, la courbe donne directement la teneur en NO₂⁻ exprimée en milligrammes par litre à une longueur d'onde de 435 nm au spectrophotomètre. (9)

✚ Analyse des nitrates

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitro-salicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique. Introduire 10 mL d'eau dans une capsule de 60 mL (pour des teneurs en azote nitrique supérieures à 10 mg/L, opérer une dilution). Alcaliniser faiblement

avec la solution d'hydroxyde de sodium. Poursuivre le dosage comme pour la courbe d'étalonnage. Préparer de la même façon un témoin avec

10 mL d'eau déionisée. Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 415 nm et tenir

compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage. (9)

✚ Analyse des sulfates

Les sulfates sont précipités en milieu acide chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum. Le précipité est stabilisé à l'aide d'une solution de polyvinyl-pyrrolidone (PVP) et les suspensions sont mesurées au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 650 nm.

✚ Analyse de l'ammonium

En milieu alcalin et en présence de nitroprussiate qui agit comme catalyseur, les ions ammonium traité par une solution d'hypochlorite de sodium et de phénol donnent du bleu d'indophénol susceptible d'un dosage colorimétrique.

Pour les eaux usées à défaut d'une distillation, procéder à une dilution de l'échantillon avant dosage. Introduire 50 mL de l'échantillon dilué dans une fiole jaugée de 100 mL. Ajouter 2 mL de solution de tartrate, mélanger, puis 2 mL de réactif de Nessler et mélanger. Laisser au repos 10 min. Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 420 nm en tenant compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

✚ Mesure de pH (sols)

Le pH est déterminé par la méthode potentiométrique dans une suspension de terre. La méthode consiste à mesurer la tension électrique d'un système constitué par deux demi-piles: L'une comporte la solution du pH inconnu dans laquelle plonge une électrode indicatrice; le système de référence, comporte une électrode dont le potentiel est pratiquement invariable. Dans ces conditions la tension électrique du système ne dépend que du pH de la solution inconnue. Le rapport Sol/Solution est de 1 g / 2.5 ml. Comme solution on utilise d'habitude de l'eau distillée ou 1M KCl.

✚ Analyse du phosphore

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium les ortho phosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage colorimétrique. Certaines formes organiques pouvant être hydrolysées au cours de l'établissement de la coloration et donner des orthophosphates, le développement de la coloration est accéléré par l'utilisation d'un catalyseur, l'émétique, tartrate double d'antimoine et de potassium. (9)

Introduire 20 mL d'eau à analyser dans une fiole de 25 mL. Ajouter 4 mL de réactif, compléter le volume à 25 mL avec de l'eau distillée, Attendre 20 minutes puis effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 690nm en cuve de 1 cm. Tenir

compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage. (9)

✚ Analyse des bases échangeables

Le sol est lessivé par une solution d'acétate d'ammonium 1M à pH = 7. La quantité d'ammonium retenue par le sol après lavage de l'excès d'acétate d'ammonium, est une estimation de la capacité d'échange des cations (CEC). L'ammonium retenu est libéré par percolation et est déterminé par auto-analyseur.

Les bases échangeables (Na, K, Ca, Mg) seront déterminées dans le premier percolât. Na et K à l'aide d'un spectromètre à flamme, directement dans le percolât. Ca et Mg par absorption atomique, dans le percolât dilué.

Dans les sols fixant K, l'ammonium peut remplacer une partie de K fixé, ce qui amène à des valeurs de K trop élevées. (10)

✚ Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique a pour but de donner la composition élémentaire du sol en classant les particules minérales constituant les agrégats dans un certain nombre de fraction, et en dosant la quantité de particules appartenant à chacune d'elles.

Cette opération nécessite au préalable la destruction des agrégats par dispersion des colloïdes floculés. La dispersion est obtenue par la destruction de la matière organique collant les particules les unes aux autres, par addition d'une solution dispersante de pyrophosphate de sodium, et par agitation mécanique. Les groupes de diamètre supérieur à 0.05 mm sont séparés à l'aide de tamis d'ouverture de mailles différentes, et pesés. Pour les particules de diamètre inférieur à 0.05 mm, les tamis ne sont plus efficaces. Leur séparation est basée sur la différence de dépôt dans l'eau des particules de diamètres différents (voir 1ère remarque).

Deux méthodes sont utilisées, l'une plus détaillée, l'autre simple.

Par la méthode détaillée, on analyse les fractions suivantes:

2 – 0.2 mm sable grossier
0.2 – 0.1 mm sable fin
0.1 – 0.05 mm sable très fin
0.05 – 0.02 mm limon grossier
0.02 – 0.002 mm limon fin

< 0.002 mm argile

Par la méthode simplifiée, on analyse les fractions ci-dessous:

2 – 0.05 mm sable
0.05 – 0.002 mm limon
< 0.002 mm argile. (10)

✚ Méthode d'analyse des résidus de pesticides dans les échantillons sols

La méthode d'analyse utilisée pour la détermination des résidus de pesticides dans les échantillons de sol comporte trois (3) étapes :

L'extraction et concentration des résidus de pesticides ;

La purification ;

L'analyse au CPG.

3. RESULTATS ET INTERPRETATION

Les analyses des échantillons d'eau ont été faites au laboratoire de l'Institut des Sciences Appliquées (ISA) et celles des échantillons sols au Laboratoire Sol-Eau-Plante de l'Institut d'Economie Rurale (IER) de SOTUBA et au Laboratoire Central Vétérinaire (LCV).

Les résultats des analyses d'eaux des canaux d'irrigation (échantillons E) sont comparés aux normes des eaux usées du Mali, les résultats des analyses des eaux de puits (échantillons P) sont comparés aux normes de l'eau potable au Mali (l'eau de consommation).

Tableau 1: Paramètres physico-chimiques des eaux de surface.

Paramètres N° Ech	pH	Cond µS/cm	T°C	Nitrite (NO ₂ ⁻) mg/L	Nitrate (NO ₃ ⁻) mg/L	Phosphore (PO ₄ ⁻) mg/L	Sulfate (SO ₄ ⁻) mg/L	Ammonium (NH ₄ ⁺) mg/L	Turbidité NTU
E1-1	6,83	56,7	25,8	0,0081	>LD	0,0061	>LD	0,0011	3,16
E1-2	6,23	79,3	25,9	0,0046	>LD	0,0123	>LD	0,0012	2,64
E1-3	6,26	87,8	25,9	0,0040	>LD	0,0337	>LD	0,0051	2,64
E2-1	6,31	49,4	26	0,0082	>LD	0,0276	>LD	0,0132	4,03
E2-2	5,82	67,7	26	0,0504	>LD	0,2362	0,556	0,0398	279
E2-3	5,83	79,8	26	0,0042	>LD	0,0061	59,037	0,0122	36,5
E3-1	5,93	56,5	26	0,0116	>LD	0,0675	59,398	0,0075	7,64
E3-2	5,58	44,5	25,8	0,0134	>LD	0,0675	58,560	0,0094	7,14
E3-3	5,52	70,0	26	0,0368	0,6946	0,0242	57,958	0,0890	580
Normes	6,5-9,5	2500	40	0,02	30	10	1000	0,5	-

Tableau 2 : Paramètres physico-chimiques des eaux de puits.

param N° Ech	pH (eau)	Cond μS/cm	T°C	Nitrite (NO ₂ ⁻) mg/L	Nitrate (NO ₃ ⁻) mg/L	Phosphore (PO ₄ ⁻) mg/L	Sulfate (SO ₄ ⁻) mg/L	Ammonium (NH ₄ ⁺) mg/L	Turbidité NTU
P ₁	7,22	25,9	25,9	0,0079	>LD	0,0675	>LD	0,0127	1,32
P ₂	7,69	25,3	25,3	0,0026	>LD	0,009	>LD	0,0117	5,92
P ₃	7,69	25,9	25,9	0,0081	>LD	0,003	>LD	0,0114	7,91
Normes	6,5 ≤ 9	1500		0,02	50	0,01	500	0,5	10

Le pH: Il influence la solubilité des métaux, l'alcalinité, la structure du sol et la croissance des plantes. La valeur adoptée au Mali pour les eaux usées est de 6,5 à 9. En comparant ces normes aux résultats obtenus dans le tableau 1, de E₁₋₂ à E₃₋₃, on voit que les valeurs du pH dans le tableau 1 sont inférieures aux normes. Tous les échantillons collectés ont un pH qui varie de légèrement à moyennement acide. Cependant, les échantillons collectés dans les puits ont un pH avoisinant la neutralité oscillant de 7,22 à 7,69.

Les Nitrites (NO₂⁻): La norme admise en nitrites au Mali est de 0,02 mg/l. L'analyse du tableau révèle que tous les résultats obtenus respectent la directive de la norme malienne excepté les deux échantillons (E2-2 et E3-3) qui dépassent légèrement la norme

maliennne. Quant aux échantillons prélevés dans les puits ils respectent la norme édictée au Mali sur l'eau potable.

Le Phosphore (PO₄²⁻): Pour ce qui est du phosphore, tous les échantillons collectés dans les canaux d'arrosage, de vidage et dans le champ affichent des résultats qui respectent la norme malienne des eaux usées. Mais l'échantillon P1 de puits dépasse la norme malienne de l'eau de consommation qui est 0,01 mg/l.

Tous les autres paramètres comme les nitrates, les sulfates, l'ammonium, température, la turbidité et la conductivité sont en accord avec les normes maliennes.

Tableau 3 : Concentrations en mg/L des métaux lourds dans les échantillons d'eaux de surface.

Paramètres N° Ech	Fe mg/L	Cr mg/L	Pb mg/L	Cd mg/L	Cu mg/L	Mn mg/L
E ₁₋₁	>LD	0,302	0,060	>LD	0,173	1,926
E ₁₋₂	2,158	0,402	0,890	3,665	>LD	0,706
E ₁₋₃	0,592	0,334	0,564	>LD	0,116	1,739
E ₂₋₁	1,364	0,288	0,688	>LD	>LD	1,305
E ₂₋₂	13,557	0,464	0,371	0,400	>LD	0,246
E ₂₋₃	1,522	0,420	0,486	1,158	>LD	1,324
E ₃₋₁	1,447	0,132	0,209	4,044	>LD	0,685
E ₃₋₂	2,056	0,397	0,308	1,666	>LD	1,288
E ₃₋₃	0,463	0,115	0,420	2,332	0,238	0,838
Normes ≤	2	2	0,2	0,02	0,1	2

Tableau 4 : Concentrations en mg/L des métaux lourds dans les échantillons d'eaux de puits.

Paramètre N° Ech	Fe mg/L	Cr mg/L	Pb mg/L	Cd mg/L	Cu mg/L	Mn mg/L
P ₁	1,055	0,390	0,478	2,475	-0,314	0,975
P ₂	1,757	0,136	0,806	1,072	0,075	1,328
P ₃	3,312	0,346	0,562	2,361	0,139	1,378
Normes	0,3	0,05	0,01	0,003	1	0,5

Le fer (Fe): Les teneurs en fer dans les échantillons E1-2, E2-2 collectés dépassent la norme malienne des eaux usées qui est ≤ 2 mg/L. Les taux de Fer se trouvant dans les échantillons d'eau prélevés dans les puits dépassent la norme malienne de l'eau non transportée sous canalisation qui est de 0,3 mg/L.

Le chrome (Cr): Les échantillons collectés recèlent des taux supérieurs à la norme édictée au Mali, à l'exception des échantillons E3-1 et E3-3 qui respectent la norme en vigueur des eaux usées au Mali. Quant aux échantillons prélevés dans les puits la lecture du tableau 4 atteste qu'ils dépassent tous la norme malienne sur l'eau potable.

Le plomb (Pb): Tous les échantillons collectés dans les canaux d'arrosage, de vidage et le champ ainsi que les échantillons recueillis dans les puits à l'exception de E1-1 et E3-1 ont révélé des teneurs en plomb supérieures à la norme requise au Mali. La directive donnée par l'OMS pour les eaux d'irrigations est respectée, mais pour les eaux de puits elle est dépassée.

Le cadmium (Cd): Pour ce qui est du cadmium, seulement trois échantillons collectés E1-1, E1-3 et E2-1 respectent la norme malienne sinon tous les autres sont hors normes selon la législation au Mali.

Le cuivre (Cu): Dans ce cas l'unique échantillon E₃₋₃ dépasse la norme malienne des eaux usées. Par contre tous les autres échantillons collectés au niveau du champ et dans les puits respectent les normes Maliennes sur les eaux usées et potables.

Le manganèse (Mn): Pour le manganèse les échantillons collectés dans les puits (P1, P2, P3) dépassent tous la norme malienne sur l'eau potable qui est de 0,5 mg/L. Cependant, les échantillons prélevés dans les canaux d'arrosage, de E1-1 jusqu'à E3-3, respectent tous la norme malienne des eaux usées qui est ≤ 2 mg/L.

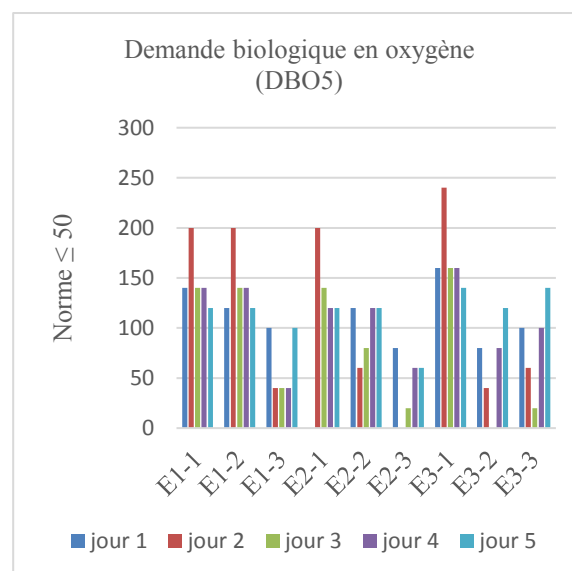


Figure 3: graphiques DBO5 (eau de surface).

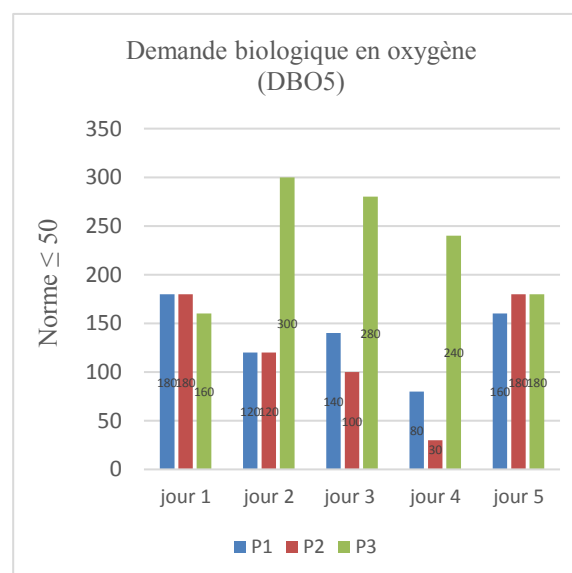


Figure 4 : Graphique DBO5 (eau de puits)

Demande Biologique en oxygène de 5 jours: Pour ce qui est de la DBO₅ seul l'échantillon P₂ au quatrième jour respecte la norme de l'eau de consommation du Mali qui est ≤ 50 mg/L. Par contre, les autres échantillons P₁, P₂ et P₃ aux jours indiqués dans le tableau ci-dessus dépassent tous la norme, pour de l'eau de consommation du Mali. Pour l'eau d'irrigation, seulement les échantillons E1-1, E1-2, E2-1 au 2eme jour et l'échantillon E3-1 du 1er au 4eme jour dépassent la norme malienne de l'eau usée qui 150 mg/L.

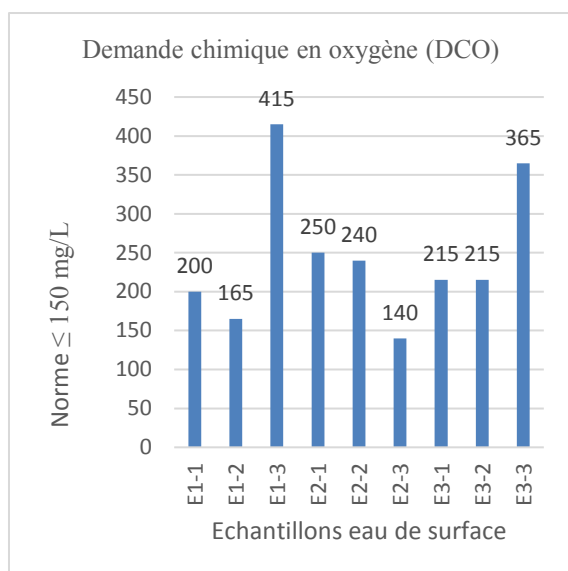


Figure 5: graphique DCO (eau de surface)

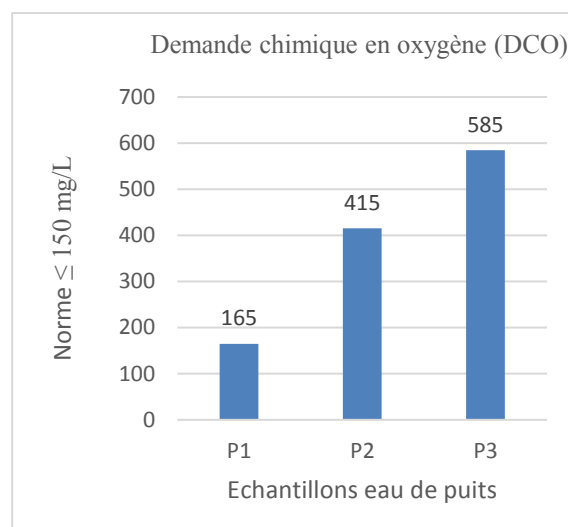


Figure 6 : DCO (eau de puits)

Demande chimique en oxygène: Excepté l'échantillon E₂₋₃, tous les échantillons prélevés respectent la norme malienne des eaux usées qui est de ≤ 150 mg/L. La même tendance prévaut pour les échantillons puits qui dépassent également la norme malienne de l'eau de consommation qui est de 50 mg/L.

Tableau 4 : Paramètres physico-chimiques des sols.

Paramètres	Ech								
	S ₁₋₁	S ₁₋₂	S ₁₋₃	S ₂₋₁	S ₂₋₂	S ₂₋₃	S ₃₋₁	S ₃₋₂	S ₃₋₃
pH (eau)	4,40	5,16	5,90	4,45	5,26	4,13	4,36	4,35	3,81
CEC meq/100g	11,31	13,82	20,13	9,69	8,08	13,27	6,61	6,55	8,30
Ca échangeable	7,99	10,66	16,76	6,11	4,66	9,10	3,44	3,33	4,88
Mg	4,00	5,31	8,38	3,06	2,33	4,55	1,72	1,67	2,45
K	1,07	0,92	1,12	1,33	1,17	1,99	0,92	0,97	1,17
Na	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Sable % >0,05	33	30	23	40	49	24	51	48	26
Limon % 0,05-0,002mm	67	70	77	60	51	74	47	52	74
Argile % <0,002mm	0	0	0	0	0	2	2	0	0

Tableau 5: Normes d'interprétations des sols.

CEC meq					
Réserves faible	Réserves médiocre	Réserves moyenne	Réserves bonne	Réserves très bonne	
< 1,5	1,5 à 3	3 à 6	6 à 12	12 à 24	
Bases échangeables					
Sols	Très pauvre	pauvre	moyenne	Riche	Très riche
Ca	< 1	1 à 2,3	2,3 à 3,5	3,5 à 7	> 7
Mg	< 0,4	0,4 à 1	1 à 1,5	1,5 à 3	> 3
K	< 0,1	0,1 à 0,2	0,2 à 0,4	0,4 à 0,8	> 0,8

pH Sol: les valeurs enregistrées indiquent des sols à pH acide avec des valeurs variant de très acide à faiblement acide, entre 3,81 et 5,90. Le pH d'un sol est très important parce qu'il contrôle la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes et la nature des réactions microbiennes dans le sol. Il permet de déterminer avec certitude quel type de culture peut prospérer sur un sol dans un tel paysage. Cette forte acidité atteste que ces sols peuvent être sujets aux effets néfastes de l'Al et du Fe sur la disponibilité du P et la croissance des plantes (11).

pH < 4,5 sol très acide.

4,5 < pH < 6 sol faiblement acide.

6 < pH < 7 sol équilibré permettant une bonne alimentation minérale.

pH > 7 sol calcaires et / ou salé.

La Capacité d'Echange Cationique (CEC):

Faisant une analyse des résultats par paysan, on constate que le premier paysan a un sol de très bonne réserve avec une valeur moyenne de 15,08 par contre le second et le troisième paysans ont un sol de bonne réserve avec une valeur moyenne de 10,34 et 7,15.

Les Bases Echangeables: Le sol S₁ (pour le premier paysan) est très riche en Ca, Mg et K avec les moyennes (11,80 ; 5,89 ; 1,03). Le sol S₂ est riche en Ca, mais très riche en Mg et K. Le sol S₃ est riche en Ca et Mg mais très riche en K.

Tableau 7 : Concentrations des résidus de pesticides des échantillons sols

Echantil	S ₁₋₁ (mg/kg)	S ₁₋₂ (mg/kg)	S ₁₋₃ (mg/kg)	S ₂₋₂ (mg/kg)	S ₃₋₂ (mg/kg)
Pesticides					
Lindane	-	-	-	-	-
Heptachlore		0,27	0,16	0,43	1,23
Aldrine	-	-	-	-	-
Endosulfan I	-	-	-	-	-
Dieldrine	-	-	-	-	-
Endrine	-	-	-	-	-
DDT-o,p'	1,33	-	-	-	-
Endosulfan II	-	-	-	-	-
DDT-p,p'	-	-	-	-	-

Les Pesticides: Parmi les neuf pesticides recherchés dans les échantillons sols, deux ont été retrouvés, il s'agit de Heptachlore et DDT op'. L'échantillon S₁₋₁ prélevé dans le canal d'arrosage contient du DDT avec une concentration de 1,33 mg/kg, tandis que les échantillons S₁₋₂; S₂₋₂; S₁₋₃ prélevés dans les champs contiennent tous du Heptachlore avec des concentrations moindres respectivement 0,27; 0,16 et 0,43 mg/kg. Le dernier échantillon prélevé dans le drain de vidage contient aussi du Heptachlore avec une concentration plus élevée que dans les échantillons prélevés dans les parcelles, ce qui est compréhensible car la concentration des polluants s'accumulent toujours dans le drain de vidage.

Heptachlore et DD op' ont été également retrouvés dans des échantillons de LNE venu de Niono avec des valeurs inférieures à la limite de quantification (< LOQ).

Lindane, Aldrine, Endosulfan I, Dieldrine, Endrine, faisant partie des neuf pesticides recherchés n'ont pas été retrouvés dans nos échantillons, mais ils ont été retrouvés dans certains échantillons en

provenance de Niono avec une valeur inférieure à la limite de quantification (Rap LNE).

CONCLUSION

Les recherches et les analyses menées pendant cette étude ont permis de dégager les différents degrés de pollutions d'eaux de surface, de profondeur et du sol. Ces pollutions sont essentiellement dues aux engrais et aux pesticides utilisés dans la zone office du Niger.

Il ressort que les échantillons d'eaux de puits et de surface ont des teneurs élevées en métaux lourds (Pb, Cd, Cr, Fe, Mn).

Les valeurs de la DCO et la DBO5 dépassent en grande partie les normes Maliennes admises pour les échantillons d'eaux de puit et de surface.

Les échantillons E₂₋₂ et E₃₋₃ donnent également des valeurs supérieures en nitrites.

Les eaux de surface ont des pH fortement acides pouvant éliminer les microorganismes ou ralentir leurs actions.

En ce qui concerne les eaux de puits, les pH respectent la norme des eaux de consommation malienne. Excepté le puit P₁, les teneurs en nitrites, nitrates, sulfates et les valeurs de températures sont toutes conformes à la norme Malienne.

Le phosphore dépasse la norme admise (0,01mg/L) dans l'échantillon P₁.

Parmi les neufs pesticides recherchés, deux pesticides ont été retrouvés dans les échantillons sol, il s'agit de Heptachlore et DDT op à des teneurs élevées que la norme malienne admise.

L'analyse des échantillons de sol a montré des sols de bonne réserve et de très bonne réserve en CEC, des pH acides et des sols riches Ca, Mg et K.

REFERENCES

1. DOUMBIA. La fertilité des sols maraîchers dans la ville de Bamako. Bamako, SOTUBA : s.n., 1997. p. 61, Memoire de fin d'étude.
2. U.S ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Waste disposal practices and their effects on groundwater. Report to Congress, USEPA. 1977.
3. COHEN S.Z, CREEGER S.M, CARSEL R.F, ENFIELD C.G. <<Potential for pesticide contamination of groundwater resulting from agricultural uses. In R.F KRUGER, J.N SEIBER: Traitment and disposal of pesticide wastes. ACS Symp. >>. 1984, 259, pp. 297-325.
4. LEISTRA M, BOESTEN J.J.T.I. Pesticide contamination of groundwater in western Europ. s.l. : Agriculture, Ecosystems and Environment, 1989. pp. 369-389. Vol. 26.
5. Hossan, Guy Trébuil et Mahabub. Le riz: Enjeux écologiques et économiques. Paris : BELIN, 2004.
6. La pollution de l'eau par les produits phytosanitaires: état et origine. Agronomie. SCHIAVON M, PERRIN C, PORTAL Jm. Nancy : Elsevier/INRA, 1995, p. France.
7. Mohamed DICKO, coll. Analyse des risques de pollution liés à l'intensification et la diversification agricoles en zone office du iger. Bamako : Centre du riz pour l'Afrique, 2013.
8. MÉCIAU, CÉCILE. Etude des conditions d'intensification des produits Bovines de la zone de Niono . Niono : s.n., 2001.
9. RODIER, Jean. L'Analyse de l'eau. Paris : DUNOD, 2009.
10. CENTRE REGIONAL DE RECHERCHE AGRONOMIQUE DE SOTUBA . Manuel de Méthodes d'analyses des sols, plantes et eaux. Bamako : s.n., 2015.
11. KAMPRAHT. Fertilisation des sols tropicaux pour la culture du soja. Brésil : s.n., 1970

Erosion hydrique et stratégies de lutte antiérosive utilisées par les producteurs dans le cercle de Bla (Mali)

Habibatou SANGARE*, Issiaka KEITA¹, Ibrahim DAO¹, Drissa DIALLO¹

¹Unité des Sciences du sol, IPR/IFRA de Katibougou, Koulikoro, Mali

*Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou, Mali

RESUME : Dans le secteur d'agriculture de Bla comme dans le reste de la zone soudano-sahélienne du Mali, les caractéristiques pluviométriques, la dégradation des sols et le faible niveau de gestion des eaux et des sols chez les producteurs sont les contraintes majeures qui affectent la durabilité des systèmes de culture à base de mil. Cette étude a pour but d'identifier les stratégies de conservation des eaux et des sols ainsi que les contraintes liées à l'appropriation des dispositifs antiérosifs adaptés par les producteurs dans les conditions du secteur d'agriculture de Bla dans la durée. Les démarches méthodologiques furent basées sur des enquêtes auprès des populations sur la perception locale sur les sols, les différentes techniques antiérosives, l'utilisation et occupation actuelles des sols, les caractérisations pédologiques in situ et la modélisation de l'érosion hydrique. Les résultats des enquêtes montrent que les producteurs du secteur d'agriculture de Bla connaissent bien leur milieu et distinguent 3 types de sols en langue bamanan (Cencen, Djè et bèlè) qui ont été rattachés aux typologies morphopédologiques des régions soudaniennes d'Afrique de l'Ouest par la méthode conventionnelle. Ils connaissent également les techniques de lutte antiérosive mais les pratiquent peu à cause des contraintes techniques et économiques. Cependant 32% des personnes interrogées préfèrent les cordons pierreux, 25% les bandes enherbées, 23% les haies vives, 15% les diguettes en terre et 5% n'ont aucun choix préférentiel des dispositifs proposés. L'analyse de la morphologie du terrain a montré trois unités morphopédologiques (le plateau cuirassé, le glacis d'épandage et le bas-fond). La perte en terre est estimée à 3,1 t.ha⁻¹.an⁻¹ sur le plateau cuirassé, 20,2 t.ha⁻¹.an⁻¹ sur le glacis d'épandage et 12,1 t.ha⁻¹.an⁻¹ au niveau du bas-fond.

Mots clés : Erosion hydrique, conservation des sols, techniques antiérosives.

INTRODUCTION

Dans le secteur d'agriculture de Bla comme dans le reste de la zone Mali-Sud, le ruissellement et l'érosion hydrique des sols affectent les milieux cultivés avec une ampleur variable en fonction du substratum, de l'usage des sols et des techniques culturales [1]. Ces processus sont défavorables au maintien du potentiel productif des sols et à une agriculture durable. La remédiation de la dégradation des sols et de l'érosion reste inscrite dans les préoccupations de développement agricole et de la gestion de l'environnement.

Au Mali, la zone Mali-sud a abrité au cours des années 1980, un programme bien structuré de lutte antiérosive. Dans ce cadre des actions ont été entreprises dans le secteur d'agriculture de Bla par le Projet Agro-Ecologie (PAE/C.M.D.T-Bla, 1989) en collaboration avec la Compagnie Malienne de Développement des Textiles (CMDT). De nombreuses techniques ont été vulgarisées : les cordons pierreux, les fascines, les digues filtrantes, les haies vives, les bandes enherbées, etc. Dans le secteur d'agriculture de Bla, ces techniques sont aujourd'hui négligées, malgré l'importance et la persistance de la dégradation et de l'érosion des sols comme partout en zone Mali-Sud.

Il est suffisamment connu que la lutte antiérosive doit être organisée en fonction des caractéristiques du climat, des sols et des réalités socio-économiques des régions et des exploitations agricoles [2,3,4,5, 6]. Cependant, dans de nombreux cas en Afrique subsaharienne, les analyses de situation n'ont pas été assez fines ou n'ont pas suffisamment pris en compte les perceptions locales sur la diversité des réalités des régions ou bassins agricoles

(7,8, 9). Ces lacunes méritent d'être corrigées face à la dégradation préoccupante des ressources en sol, l'accroissement des besoins alimentaires et la nécessité d'améliorer le cadre de vie des populations rurales.

Les données requises pour développer des stratégies objectives de lutte antiérosive peuvent être obtenues à partir d'expérimentations en milieu réel, la modélisation, l'utilisation des radio-isotopes environnementaux comme Cs-137. Ces pratiques permettent d'avoir des données utiles pour le développement de stratégies de gestion des sols [10, 11, 12]. Elles ont l'avantage d'être réalisables dans des délais courts. Dans tous les cas, les données climatiques locales et celles acquises sur les sols doivent être nécessairement complétées par des résultats d'enquêtes auprès des agriculteurs.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Site de l'étude : le secteur d'agriculture de Bla

Le secteur d'agriculture de Bla couvre le cercle de Bla situé dans la région de Ségou (figure 1). Le cercle couvre une superficie de 6200km². La population a été estimée à 471 746 habitants en 2015 avec une densité d'environ 27 habitants au km². Elle est répartie entre 17 communes.

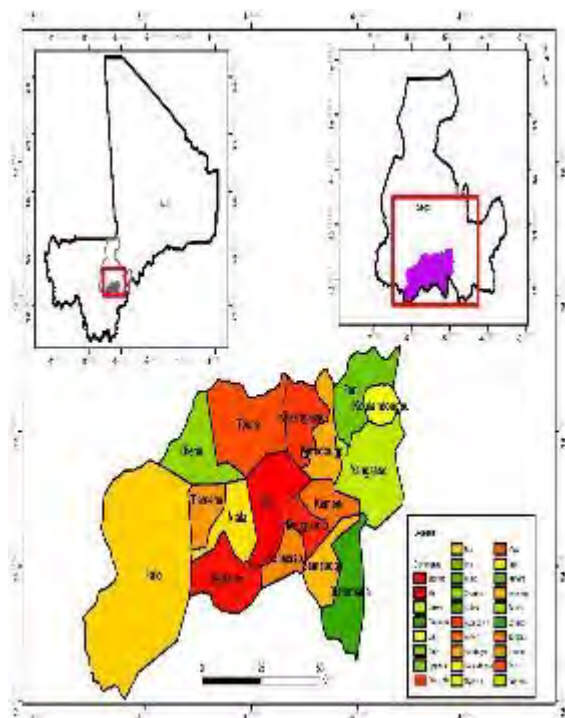


Figure 1: Cercle de Bla

Le climat est de type soudanien avec une pluviométrie annuelle variable. L'examen des quantités de pluies enregistrées dans les différents sous-secteurs de Bla au cours de la période 2004-2014 confirme cette variabilité (figure 2).

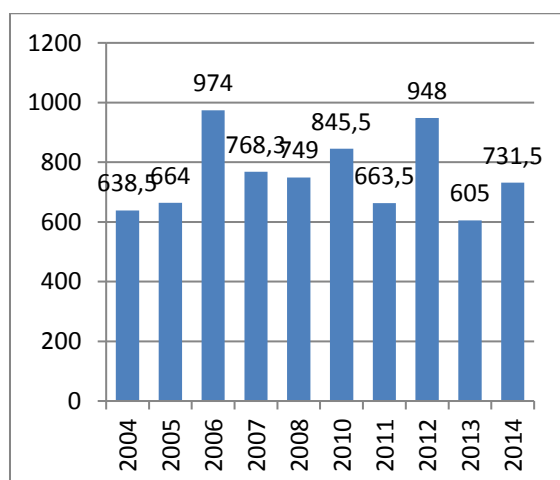


Figure 2: Quantités de pluie enregistrées dans le cercle de Bla (période 2004- 2014)

Source : Données fournies par le secteur d'agriculture de Bla.

Le cercle de Bla s'inscrit dans une région gréseuse (Plateau de Koutiala), l'une des 14 régions naturelles définies au Mali par le PIRT [13] à partir de critères géologiques et géomorphologiques. Le relief est formé de bas plateaux, de glacis d'épandage et de bas-fonds.

Les principaux sols observés sont les lithosols, les sols ferrugineux tropicaux et les sols hydromorphes.

Les sols les plus cultivés sont des sols ferrugineux tropicaux qui présentent un horizon de surface de texture sablo- limoneuse à limono-sableuse.

La végétation est sérieusement menacée par le surpâturage et les coupes abusives de bois pour des besoins d'énergie.

2.2. Méthodes

2.2.1 Enquêtes

Des enquêtes ont été menées auprès des populations sur la perception locale sur les sols, les différentes techniques antiérosives, l'utilisation et occupation actuelles des sols.

La méthodologie retenue pour la collecte des données était une interview avec un questionnaire individuel et ouvert directement adressé aux chefs d'exploitation ou aux chefs des travaux pour une meilleure adaptation aux réalités de terrain.

Les personnes interrogées étaient des résidents et pratiquant l'agriculture comme activité principale.

L'érosion, la baisse de la fertilité et la forte pression agricole ont été retenues comme critères de base pour le choix des villages.

Ainsi les villages suivants ont été retenus : Dakoumani, Sokè, Teremesso, Touna, Négoussona, Koutienso.

2.2.1.1 Connaissances locales sur les ressources en sols

Les enquêtes ont visé la compréhension des connaissances relatives aux types de sol mais aussi aux pratiques locales dans le domaine de la gestion conservatoire des eaux et des sols. Un échantillon aléatoire de 60 exploitations réparties entre six villages et quatre communes dans le cercle de Bla a été réalisé pour apprécier les perceptions locales des sols, les différentes techniques de lutte antiérosive et les contraintes de mise en œuvre des dispositifs antiérosifs. La caractérisation des sols a été faite suivant une démarche morphopédologique.

L'approche toposéquentielle a été conduite avec 4 producteurs ayant des expériences avérées dans la connaissance de l'environnement des différents terroirs pour déterminer les appellations locales des sols.

Nous avons procédé à la description morphopédologique des sols de deux toposéquences à savoir l'axe Bla- Yangasso et l'axe Bla-Koutiala.

Pour l'identification des sols d'après les méthodes pédologiques conventionnelles et mieux comprendre les propriétés des sols qui s'y trouvent, nous avons réalisé des sondages à la tarière et procédé à l'ouverture de trois fosses pédologiques selon chaque unité morphopédologique.

2.2.1.2. Techniques de lutte antiérosive

Les enquêtes ont été réalisées auprès de 60 exploitations agricoles choisies de façon aléatoire sur trois axes routiers (Bla-Touna, Bla-Yankasso et Bla-Koutiala). Dans chaque village (deux par axe), 10 personnes ont été enquêtées. L'enquête a porté sur 4 techniques de lutte antiérosive à savoir la diguette en terre, le cordon pierreux, la bande enherbée et la haie vive.

2.2.1.3. Utilisation et occupation actuelles des sols

Les enquêtes ont porté sur l'utilisation et occupation des différents sols identifiés dans le secteur d'agriculture de Bla et sur différentes unités morphopédologiques.

2.2.2 Evaluation de l'érosion potentielle des unités morphopédologiques

L'érosion potentielle a été évaluée avec la RUSLE (Reviews Universal Soil Loss Equation), c'est-à-dire l'Equation Universelle de Perte en Terre Révisée. Il s'agit d'une équation paramétrique dont la version initiale a été mise au point par Wischmeier et Smith [14]. Elle s'écrit :

$$E = 2,24 \times R \times K \times Ls \times C \times P$$

R : indice pluie ou érosivité des pluies

K : indice sol ou érodibilité du sol

Ls : indice pente

C : indice végétation et culture

P : indice de pratique antiérosive

Pour définir les valeurs des indices dans notre contexte d'étude, nous nous sommes référés aux travaux conduits en Afrique de l'Ouest [14] en ce qui concerne R, K, C et P. En ce qui concerne l'indice Ls, nous avons utilisé l'abaque proposé par Wischmeier et Smith en 1978 [14]

Le seul indice obtenu par calcul est R. Dans ce cas, nous avons utilisé la formule proposée pour l'Afrique de l'Ouest [14] qui est :

$$R_{am} = Ham \times 0,5 + 0,05$$

Ram : indice d'agressivité annuel moyen

Ham : hauteur annuelle moyenne de pluie pour au moins 10 ans.

Dans cas de cette étude, Ham = 800 mm

Le tableau 4 donne les valeurs attribuées aux différents indices en fonction du type de sol dominant de chaque unité morphopédologique, ses caractères de pente et son occupation actuelle.

Tableau 4 : Valeurs attribuées aux différents indices

Unité morphopédologique	R	K	Ls	C	P
Plateau à sol peu évolué d'érosion	400	0,05	0,7	0,1	1
Glacis d'épandage à sol ferrugineux tropical	400	0,25	0,1	0,9	1
Bas-fond à sol hydromorphe	400	0,3	0,05	0,9	1

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Les connaissances locales des sols

Les enquêtes auprès des paysans ont permis de connaître et comprendre les différentes appellations des sols dans les villages retenus.

Il s'agit ici des types de sol du système de classement paysan de la zone d'étude. Les classifications paysannes ont toujours un caractère local. Dans la zone d'étude, les désignations sont faites en langue bamanan.

L'analyse des réponses individuelles des personnes interrogées montrent que les sols sont cités avec des fréquences très variables (97,4 % pour le *cèncèn dugukolo*, 84% pour le *djè* et 13,2 pour le *Bèlè dugukolo*). Ces différentes fréquences sont montrées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Les types de sols signalés par les paysans au cours des enquêtes

Types de sols	cèncèn	djè	bèlè
%	97.4	84.2	13,2

Source: Keita I, 2016.

Le *bèlè* comprend les sols du plateau cuirassé et ceux situés au contre bas immédiat. Leur caractéristique morphologique principale demeure la prédominance des éléments grossiers.

Les zones couvertes par le bèlè constituent une réserve de vaine pâture avec des formations végétales secondaires généralement rabougries.

Le bèlè semble peu propice à une exploitation agricole car sa capacité de rétention en eau est faible. De plus le niveau de mécanisation des exploitations n'est pas favorable à une mise en culture du bèlè. Néanmoins la prolifération des adventices est faible avec un faible niveau de fertilité.

Ce manque d'intérêt pour la mise en culture du bèlè a été constaté par [4] dans la zone soudanienne du Mali.

Le cèncèn est la couverture pédologique la plus utilisée pour la mise en culture par les producteurs. Quatre-vingt-dix-sept (97.4 %) des exploitations enquêtées ont au moins des parcelles de cultures installées sur le cèncèn. Il est alors de loin le plus utilisé et reçoit toutes les cultures dans un système de rotation. La culture du mil, du maïs et du coton l'emporte sur les autres. Il est très sensible à la baisse de la fertilité et à l'enherbement. Par contre la sensibilité à la sécheresse est moyenne.

Le *djè* se localise à la fin des pentes ; il est parfois incisé par des cours d'eau ou des chenaux

temporaires. La texture est limono-sableuse en surface à argilo-limoneuse en profondeur.

Il est préférentiellement exploité en coton, riz et en sorgho, et résiste mieux aux poches de sécheresse que le bèlè et le cèncèn. Cependant des risques d'engorgement voire d'inondations existent et ne doit à cet être mis en culture mais 15,8% des personnes enquêtées mettent en valeur cette zone.

3.2 Sols identifiés d'après les méthodes pédologiques conventionnelles

Ici, on parlera plus exactement d'unités morphopédologiques. Il faut rappeler que dans une unité morphopédologique, un ou plusieurs types de profils de sol sont toujours liés à un modelé. Chaque unité morphopédologique a sa réalité propre, en particulier ses potentialités agricoles et ses fonctionnements hydrodynamique et morphodynamique (flux verticaux et latéraux de matières liquides, dissoutes et particulaires).

L'analyse du paysage agricole du secteur de Bla montre l'existence de trois principaux modelés de terrain : plateau cuirassé, glacis d'épandage et bas-fond. La caractérisation permet d'établir une classification des sols selon le système avec la nomenclature paysanne des sols [15]. Le résultat se trouve au tableau 4.

Tableau 4: Quelques traits des unités morphopédologiques identifiés dans le Secteur d'Agriculture de Bla d'après la méthode conventionnelle

Désignation Modelé	Description simplifiée	Régime hydrologique	Types de sols (CPCS, 1967)
Plateau cuirassé	Surface tabulaire, d'altitude voisine de 360 m, matériau formé d'une cuirasse en dalle avec faible recouvrement limono-sableux, généralement gravillonnaire	Drainage externe excessif	Lithosol
Glacis d'épandage	Long glacis dominé par le plateau. Matériau meuble d'épaisseur $\geq 1m$, de texture sablo-limoneuse à limono-sableuse en surface. La couleur rougeâtre du matériau, prononcée dans la partie amont, s'atténue à l'aval.	Bien drainant	Sol ferrugineux tropical lessivé
Bas-fond	Modelé assimilable à une cuvette en voie de fossilisation, matériau épais, de texture nettement fine	Inondation plus ou moins prolongée, drainage interne médiocre	Sol hydromorphe

Source : Keita I, 2016

Ces résultats sont conformes aux descriptions morphopédologiques réalisées par [16] qui a aussi trouvé trois unités morphopédologiques, assez nettes. Cependant, ces résultats sont différents à ceux trouvés par Sangaré [17] qui a identifié 7 unités morphopédologiques dans le bassin versant de la Bagoé en zone soudanienne du Mali.

3.3 Perception locale des dispositifs antiérosifs et utilisation des sols

3.3.1 Perceptions locales des dispositifs antiérosifs

Les résultats des enquêtes montrent que de nombreux producteurs connaissent des techniques et dispositifs de lutte antiérosive. Ils ont généralement eu connaissance des techniques de lutte antiérosive à travers le projet PAE (Projet Agro-Écologie) qui a travaillé dans le secteur de Bla de 1986 à 1989. Au sujet des dispositifs antiérosifs présentés dans notre étude (diguette en terre, cordon pierreux, bande enherbée et haie vive), les préférences des producteurs sont variées comme montrées au tableau 2.

Tableau 2: Préférence local des dispositifs antiérosifs (secteur de Bla)

Dispositif antiérosif	Choix exprimé par les paysans (n=60)

	Nombre de paysan	Pourcentage (%)
Cordon pierreux	19	32%
Diguette en terre	9	15%
Bande enherbée	15	25%
Haie vive	14	23%
Pas de choix	3	5%

Le cordon pierreux et la bande enherbée sont les plus préférés (respectivement par 32% et 25% des personnes enquêtées). Certains paysans (5% de l'échantillon) n'ont aucun choix préférentiel parmi les dispositifs antiérosifs proposés.

3.3.2 Contraintes de mis en œuvre des dispositifs antiérosifs dans le secteur de Bla

Dans l'installation des différents dispositifs antiérosifs, les producteurs du secteur d'agriculture de Bla rencontrent de nombreuses difficultés (Tableau 3). Les cordons pierreux et de haies vives sont des dispositifs dont l'installation rencontre plus de difficultés selon respectivement 90% et 58% des personnes enquêtées.

Tableau 3: Les contraintes de mise en place des Installation des dispositifs antiérosifs dans le secteur de Bla.

Dispositif antiérosif	Nombre de paysans signalant des contraintes spécifiques	Pourcentage (%)	Contraintes
Cordon pierreux	54	90%	Manque de pierre, difficulté de transport, main d'œuvre importante, insuffisance de matériel.
Diguette en terre	6	10%	Durée de vie courte, engorgement de la parcelle, insuffisance de matériel
Bande enherbée	12	20%	Insuffisance de place, manque de semence d'herbe et méconnaissance de bonne espèce.
Haie vive	35	58%	Manque de semence pour la pépinière Dégradation des sols par la haie vive (Jatropha), méconnaissance de bonne espèce à planter.

3.3.3 Utilisation et occupation actuelles des sols

Les affectations actuelles des terres sont présentées au tableau 5.

Tableau 5: Affectation actuelle des terres dans le secteur d'Agriculture de Bla

Unité morphopédologique	Sol dominant	Utilisation et occupation actuelles

Plateau cuirassé	Lithosol	Zone sylvo-pastorale, Savane arbustive dégradée.
Glacis d'épandage	Sol ferrugineux tropical lessivé	Forte pression agricole, monoculture de mil et/ou rotation coton-céréale, labour généralisé

Bas-fond	Sol hydromorphe	Zone affectée à la riziculture pluviale, labour généralisé, maraîchage de contre saison
----------	-----------------	---

Elles reflètent les perceptions locales des types de sols comme l'ont montré des enquêtes antérieures [15]

3.3.4 Comportement érosif des sols

La perte en terre moyenne calculée à partir du modèle de wischmeier et smith, est variable selon les unités morphopédologiques (Tableau 6).

Tableau 6: Perte en terre des différentes unités

Unité morphopédologique et occupation du sol	Erosion t.ha ⁻¹ .an ⁻¹
Plateau cuirassé sous savane dégradée	3,1
Glacis d'épandage sous culture	20,2
Bas-fonds sous culture	12,1

Dans ce tableau, le glacis d'épandage est le plus sensible à l'érosion hydrique avec un taux estimée à 20,2 t.ha⁻¹.an⁻¹. La plus faible érosion est enregistrée sur le plateau cuirassé (3,1 t.ha⁻¹.an⁻¹).

3.3.5 Dispositif antiérosif proposable dans le secteur de Bla

Les techniques de CES sont choisies selon l'unité topographique et les utilisations ultérieures. Dans un champ, il s'agit de choisir une combinaison de techniques et de méthodes qui, non seulement sont adaptées au contexte agro-écologique spécifique (pluviométrie, topographie, nature et structure du sol, nature de la dégradation, couverture végétale, etc.) mais qui sont également faisables et à la portée des producteurs et qui ont des effets directs significatifs.

L'analyse de la perméabilité des différentes unités morphopédologiques est capitale pour la mise en place d'un dispositif antiérosif adéquate. Elle dépend de la texture mais aussi de la structure du sol. Des dispositifs proposables sont montrés au tableau 7. Il s'agit d'ouvrages perméables sur le plateau et dans la dépression. Par contre, des ouvrages non ou peu perméables sont proposables sur le glacis d'épandage.

Tableau 7 : Dispositifs antiérosifs proposables dans le secteur d'agriculture de Bla.

Unités morphopédologiques	Ouvrages proposés	Objectifs
Plateau cuirassé	Cordon pierreux	Diminuer la force du ruissellement

Glacis d'épandage	Diguette en terre	Favoriser l'infiltration totale ou en partie des eaux de pluies, améliorer le stock hydrique du sol.
Bas-fonds	Cordon pierreux	Réduire la vitesse du ruissellement, Favoriser la sédimentation

4. CONCLUSION ET SUGGESTIONS

La présente étude a permis d'identifier les principales couvertures pédologiques du secteur d'agriculture de Bla. La démarche retenue ici (enquête sur les techniques de lutte antiérosive, évaluation de l'érosion potentielle, caractérisation des paysages agricole et l'identification de techniques adaptées aux différentes unités morphopédologiques) peut contribuer aux efforts de recherche de solution pour la résolution du problème d'érosion. Les producteurs ont une bonne connaissance de leur environnement. Cependant cette étude a permis de constater une négligence par rapport à l'application des techniques de lutte antiérosive dans le secteur d'agriculture de Bla malgré l'accentuation du phénomène de l'érosion. Nous avons soupçonné des contraintes socio-économiques. Donc Les efforts doivent être orientés vers:

- une prise en compte des dimensions socio-économiques de la gestion intégrée de la fertilité des sols.
- Une sensibilisation des producteurs par rapport aux menaces de l'érosion sur la production agricole.
- La formation des producteurs pour une bonne maîtrise des techniques de construction des ouvrages.

Pour des investigations plus poussées il faut :

- la cartographie des sols en vue de mieux apprécier la distribution spatiale des différents types de sols et les relations morphodynamiques existantes.
- une meilleure analyse du comportement érosif des sols à travers des tests de laboratoire.

Références

- [1] Diallo D. (2000). Erosion des sols en zone soudanienne du Mali. Transfert des matériaux érodés dans le bassin versant de Djitiko (Haut Niger). Thèse

de Doctorat de l'Université Joseph Fourier de Grenoble:202 p.

[2] Zougmore R., Guillobez, S., Kambou, N.F., Son, G. (2004). Runoff and sorghum performance as affected by the spacing of stone lines in the semiarid Sahelian zone Soil & Tillage Research 56, p: 175-183.

[3] Diallo D, D.Orange, E. Roose (2004 b). Influence des pratiques culturales et du type de sol sur les stocks et pertes de carbone par érosion en zone soudanienne du Mali. Bull. 22 du Réseau Erosion.

[4] Roose E. J. 1994 : Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) <http://www.fao.org/docrep/T1765F/T1765F00.htm>

[5] Kanté S ; T. Defoer ; A. Bengaly (1999). Description et utilisation des toposéquences. Rapport d'étape. DRSPR/IER, 20 p.

[6] Diallo et al (2012). Properties and management of gravelly soils developed on ferruginous cuirass in Mali.

[7] Diallo D., Diallo B.A. (2016): Ethnopedology for solving problems of soil management and sustainable agriculture implementation in West Africa Savannah regions.

[8] Kante, S., T. Defoer, A. Bengaly & K. Bitchibaly (1999). Classification et gestion paysanne des terres en milieu Minianka, Senoufo et Bamanan, 37 p.

[9] Warren D.M. (1992). A preliminary analysis of indigenous soil classification and management systems in four ecozones of Nigeria. IITA, ARCIK, Ibadan, Nigeria, 28p

[10] Yougbaré H., (2008). Evaluation de la fertilité des terres aménagées en cordons pierreux,

[11] Bayen P. ; Traoré S. ; Bognounou F. ; Kaiser D. ; Thiombiano A. (2011). Effet du zaï amélioré sur la productivité du sorgho en zone sahélienne. Vertigo – la revue électronique en sciences de l'environnement 3 (11). 15 p.

[12] Maré G. (2002). Impact des cordons pierreux végétalisés sur l'évolution de la fertilité des sols et des rendements en sorgho dans le bas-fond sahélien de Thion. Mémoire d'ingénieur UPB/IDR, 61 p.

[13] PIRT, 1983. Projet d'Inventaire de Ressources Terrestres du Mali.

[14] Wischmeier W.H. et Smith D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation Planning. USDA

[15] CPCS (1967): Classification des sols. Ecole Nationale Supérieure Agronomique. Grignon, France.87 p.

[16] Kouyaté Z., Diallo D., Famanta M. (2015). Gestion conservatoire des eaux, de la fertilité des sols et amélioration de la productivité des systèmes de culture à base de mil dans le cercle de Bla. Rapport de Recherche de la Campagne 2014- 2015 ; 21^{ème} Session du Comité du Programme du 08/06 au 12/06/2015, IER, Bamako : 14p.

PAE/C.M.D.T-Bla, 1989. Rapport Bilan du PAE/LAE; 1986-1989, 31p.

[17] Sangaré H., Diallo D., Traoré S. (2014). Evolution agricole et occupation du sol en zone Mali-Sud (cas du bassin versant de Sinani). Proceedings MSAS' 2014 : 117-120

[18] Keita I, 2016, Pratiques de gestion et qualité des sols sous culture continue en zone soudanienne du Mali (cas du secteur agricole de Bla) Mémoire master GIFS, IPR/IFRA de Katibougou, 49 p.

Dynamique des signatures spectrales des formations paysagiques dans le bassin versant de Lotio de 1990-2019

TRAORE Souleymane M¹, BENGALY Souleymane², CISSE Youssouf², DIARRA Sékoumar³, GUINDO Abdoulaye M¹

^{1,2}Faculté d'Histoire et de Géographie, Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako, Mali

³Hexagone Expertise, Bamako, Mali

Email : souleymanemoussatraore@gmail.com

Résumé : Le bassin versant de Lotio est un milieu naturel très riche et diversifié en formations naturelles et anthropiques. L'étude de ces formations à travers leurs signatures spectrales permet de décrire la diversité et la dynamique paysagiques du bassin versant de Lotio. La présente étude s'intitule « Dynamique de la signature spectrale des formations paysagiques dans le bassin versant de Lotio de 1990 à 2019 ».

Les images Landsat sont des moyens d'observation des phénomènes se déroulant sur la terre à travers la manipulation des Systèmes d'Information Géographique et la Télédétection. C'est dans ce contexte que cette recherche étudie les réactions spectrales des formations naturelles et anthropique de deux sous-bassins versant de Lotio de 1990 à 2019. Les données spatiales (imagerie satellitaires Landsat multi dates et DEM) ont été utilisées à cet effet. La classification des images Landsat et l'élaboration des profils des réponses spectrales des objets ont été faites sous *QGIS* avec l'algorithme Semi-Automatic Classification (SCP). Les résultats de l'étude révèlent que les objets n'ont pas une évolution similaire. Les objets les plus dominants en termes de réflectance en fonction des longueurs d'onde dans le bassin de Lotio (1990 - 2019) sont la zone agricole et le sol nu (0,03 et 0,15) et le bâti (0,04 à 0,17). Les résultats de l'analyse d'occupation du sol de deux sous-bassins versant (amont et aval) ont ainsi permis de déterminer quatre (4) classes d'occupation du sol. Cette étude révèle en amont une extension spatiale du bâti de 2,78% à 6,42% et des zones agricoles et du sol nu de 11,73% à 12,59% sur une période de 29 ans. D'autre part en aval, l'étude révèle une augmentation spatiale du bâti de 8,16% à 12,80% de 1990 à 2019.

Mots clés : Dynamique, signature spectrale, formation naturelle et anthropique, bassin versant de Lotio.

I. Introduction

L'image satellitaire occupe une place très importante dans l'étude des processus de transformation spatiale notamment dans l'observation et le suivi des phénomènes naturels et humains [2]. Dans les caractéristiques intrinsèques des objets et des surfaces, le rayonnement incident interagit avec la cible selon l'une ou l'autre des propriétés citées précédemment, ou de manière générale selon une combinaison de ces propriétés. Chaque objet de la surface possède une signature spectrale c'est-à-dire que la quantité d'énergie émise ou réfléchi en fonction de la longueur d'onde lui est propre.

Le développement des techniques de la télédétection et du système d'information géographique (SIG) permet une approche de plus en plus précise sur la dynamique de l'occupation du sol [8]. La télédétection et le SIG sont de plus en plus utilisés pour l'étude des phénomènes se déroulant à la surface de la terre. Ils constituent des outils essentiels dans les systèmes interactifs d'aide à la prise de décision.

L'approche méthodologique basée sur ces deux outils a été retenue dans le cadre de la présente étude pour faire une comparaison des formations naturelles et anthropiques à travers leurs signatures spectrales dans chacun des sous-bassins versant de Lotio.

Il existe des facteurs naturels favorisant la dynamique des milieux comme les variations du couvert végétal [3]. Cependant depuis un certain temps, l'homme est devenu le principal acteur de la transformation des écosystèmes [12]. Les ressources naturelles subissent des pressions anthropiques croissantes qui entraînent des dysfonctionnements des écosystèmes terrestres et des pertes de biodiversité [10]. Ces changements ont abouti à la création de deux macro classes : des formations naturelles (couvert végétal et plan d'eau) et des formations anthropiques (bâti, sol nu, zone agricole).

Les caractéristiques et les propriétés des unités de formation naturelle peuvent être étudiées en mesurant la réponse spectrale des unités de formation naturelle et anthropique du spectre électromagnétique [11]. La réflectivité spectrale est unique pour les objets naturels ou artificiels contenant un seul matériau. Elle est donc un moyen idéal pour l'identification des matériaux. La réflectance de chaque objet étant unique, beaucoup de chercheurs préfèrent l'appeler signature spectrale. La signature spectrale peut être considérée comme une fonction continue de longueur d'onde qui est mesurable dans les laboratoires ainsi que dans les milieux naturels [9].

Le Lotio arrose plusieurs communes dans le cercle de Sikasso. Son Bassin versant couvre une superficie

de 4414,83 Km² avec une longueur de 121,9 Km. Il dispose d'une multitude de formations naturelles et anthropiques. Chaque formation (objet) a une caractéristique qui lui est propre. La télédétection est un outil très performant qui continue de progresser de nos jours avec de nouvelles perspectives de recherche. L'approche Télédétection / SIG a été utilisée dans le cadre de ce projet pour étudier la dynamique des objets à travers leurs signatures spectrales.

II. Présentation de la zone d'étude

Affluent du Bafing dans le cercle de Sikasso et situé entre les longitudes 5°42' et 5°24' W et les latitudes 11°42' et 11°06' N, le Lotio coule du sud au nord. Son exutoire est situé dans la commune de Kouoro. C'est la seule rivière qui arrose environ 17 communes dans le cercle de Sikasso. Dans le bassin versant de Lotio, le climat est de type tropical soudanien. Il se localise dans la région la plus humide et la plus arrosée (700 à 1500mm/ans) du Mali ; la température moyenne annuelle est 27 degrés Celsius (°C) et la couverture végétale varie de la savane arborée à la forêt galerie.

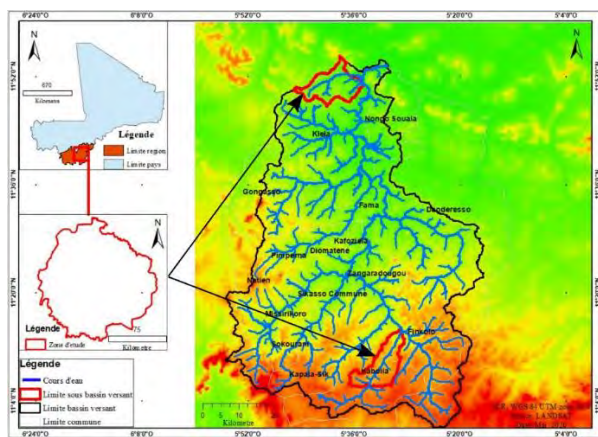


Figure 1 : Situation géographique du cadre d'étude

III. Méthodologie

3. Données et Matériels

3.1 Données

Les données qui ont été exploitées dans le cadre de ce travail sont : les MNT (Modèle numérique du terrain), les images TM (Thématique Mapper) de 1990 et OLI (Opérationnel Land Imager) de 2019, les fichiers de forme des limites administratives et l'image Google Earth.

Tableau 1 : Caractéristiques et sources des données

Type	Formats	Résolution	Date	Source
Landsat TM	Numérique	30m	1990	USGS
Landsat OLIT	Numérique	30m	2019	USGS
SRTM	Numérique	30m	2014	USGS

Image Google Earth	Numérique	10m	1990 /2019	Google Earth
Limite Administrative	SHP (Vecteur)	-	-	MDRI

3.2 Matériels

Des scènes de Landsat (Landsat TM et OLI) ont permis d'extraire les informations spatiales (signatures des objets) de la zone d'étude et l'identification des unités d'occupation du sol. Les outils et logiciels utilisés pour réaliser cette étude sont les suivants :

Google Earth a été utilisé pour échantillonner afin de déterminer les classes d'unité de formation ;

QGIS 3.8.x (avec extension SCP) pour le traitement des images satellitaires et la réalisation des profils de réflectance ;

Grass Gis a été utilisé pour extraire les caractéristiques géométriques des sous-bassins versant ;

ArcGIS 10.3 a été utilisé pour l'analyse spatiale et l'élaboration des cartes ;

Excel pour le traitement et l'analyse des données statistiques ; enfin Inkscape 0.91 pour redessiner les graphiques de la signature spectrale.

3.3 Approches

Au premier plan, l'échantillonnage a été effectué à travers le google Earth pour définir les classes des objets sur l'image.

3.3.1 Composition colorée

La composition colorée est une combinaison qualitative de trois bandes spectrales d'une image. Les techniques de composition colorée consistent à affecter chaque bande spectrale à un des plans d'affichage (RGB ou rouge, vert, bleu) composant l'écran couleur de l'ordinateur. Dans le cadre de ce travail, nous avons utilisé une composition colorée de fausses couleurs de 432 pour les bandes TM et OLI.

Tableau 2 : Clé d'interprétation des compositions colorées

Cibles	Composition colorée des images Landsat	
	TM (432)	OLI (432)
Bâti	Vert clair	Vert foncé
Plan d'eau	Bleu foncé, Noir	Noir
Végétation	Rouge clair et foncé, Vert foncé	Rouge clair, vers foncée, Marron Verdâtre

Zone agricole, Sol nu	Rose dégradée et blanc sale	Rose claire et Blanc sal
-----------------------	-----------------------------	--------------------------

3.3.2 Classification supervisée

La classification supervisée est une méthode d'interprétation numérique d'image basée sur l'affiliation des pixels à des classes définies et reconnues par l'opérateur à partir de la connaissance du terrain [4].

Le traitement s'est déroulé par les étapes suivantes : la définition de la légende ou classe et l'édition des parcelles d'intérêt (*Régions Of Interest* ou ROI).

L'algorithme de classification utilisé est le *Maximum de vraisemblance* qui est l'une des techniques de classification en télédétection les plus adaptées pour la dérivation d'information à l'échelle inférieure au pixel. Bien que le classifieur par maximum de vraisemblance soit une technique de classification statistique qui alloue un pixel à la classe avec laquelle il a la probabilité la plus élevée ou une probabilité postérieure d'appartenance 0.

L'approche adoptée dans cette recherche se résume dans le graphique ci-dessous.

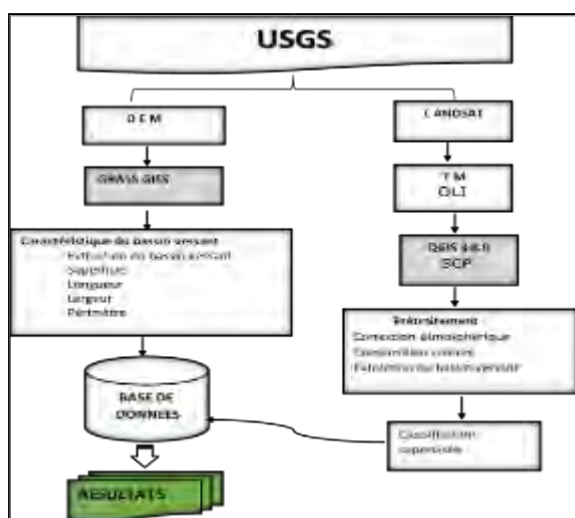


Figure 2 : Schéma méthodologique

IV. Résultats

Cette partie présente les résultats de l'étude.

4.1 Caractéristiques géométriques du bassin versant

Les caractéristiques géométriques du bassin versant les plus déterminantes sont la superficie, le périmètre, la longueur et la largeur [5]. Elles sont illustrées dans le tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3 : Caractéristiques géométriques de deux sous-bassins versant de Lotio

Paramètres	Bassin amont	Bassin aval
Superficie km ²	109,62	110,38
Périmètre km	87,22	88,23
Longueur km	17,57	16,54
Largeur km	6,23	6,67

4.2 Signatures spectrales du sous-bassin amont en 1990

En 1990, le taux de réflectance des objets a varié de 0,05 à 0,15 sur la longueur d'onde de 1,2 à 3µm (figure 3). Les zones agricoles et le sol nu ont montré une forte réaction avec 0,15 comme taux de réflectance. Mais à partir de 2µm, le sol nu et la zone agricole ont connu une faible réflectance soit 0,09. A partir de l'infra-rouge moyen, la réflectance de la zone agricole et le sol nu augmente légèrement. La réflectance du plan d'eau est le plus faible dans l'infra-rouge thermique mais a un taux de 0,05 dans le proche infra-rouge.

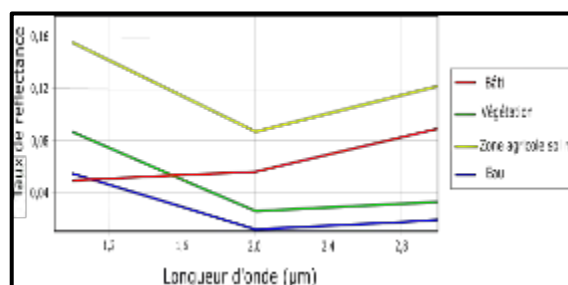


Figure 3 : Réflectance des objets de sous-bassin versant amont en 1990

4.2 Signature spectrale du sous-bassin amont en 2019

A la date 2019, le taux de réflectance des objets a évolué de 0,02 à 0,15 sur le domaine du proche infra-rouge. Les signatures des objets les plus élevées sont le bâti (soit de 0,06 à 0,15), les zones agricoles et le sol nu (soit de 0,03 à 0,15). En revanche dans le proche infra-rouge le plan d'eau n'a presque pas réagi, tandis que la végétation a révélé une légère augmentation de réflectance dans le même domaine (figure 4).

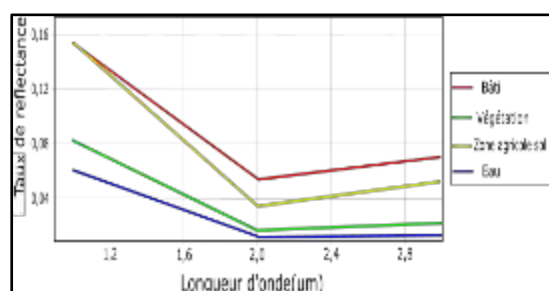


Figure 4 : Réflectance des objets de sous-bassin amont en 2019

4.3 Signature spectrale du sous-bassin aval en 1990

Dans le sous-bassin versant aval de 1990, le taux de réflectance des objets a varié de 0,02 à 0,14 sur une longueur d'onde de 1 à 4 μm (figure 5). Le profil des formations anthropiques notamment les zones urbaines (bâti) a varié de 0,05 à 0,14, suivi par les zones agricoles et le sol nu qui ont évolué de 0,05 à 0,13. Les courbes de taux de réflectance de la végétation (de 0,03 à 0,06) et du plan d'eau (de 0,02 à 0,03) ont été les plus basses dans les domaines du proche infra-rouge et de l'infra-rouge moyen (figure 5).

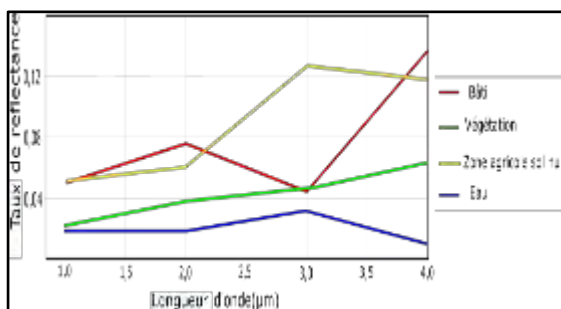


Figure 5 : Réflectance des objets du sous-bassin versant aval en 1990

Les objets les plus dominants sont anthropiques : le bâti, les zones agricoles et le sol nu avec un taux de réponse de 0,14 tandis que le plan d'eau a un faible taux de réaction de 0,03. Les objets ont connu un fort changement à partir de 3 μm de longueur d'onde (l'infra-rouge thermique). Les zones agricoles et le sol nu ont pris une grande ampleur avec 0,13 comme taux de réflectance et sont restés constants jusqu'à 4 μm de longueur d'onde. Sur la même longueur d'onde (4 μm), le bâti a connu une variation significative ainsi que la végétation. Par contre, le plan d'eau est resté quasi constant en évoluant légèrement de 0,02 à 0,03 (figure 5).

4.3.2 Signature spectrale du sous-bassin aval de 2019

Sur la figure 6, les objets ont connu une évolution similaire du proche infra-rouge à l'infra-rouge moyen. Les unités anthropiques ont montré la réflectance la plus significative dont le bâti avec un taux de 0,06 à 0,17, suivi par les zones agricoles et le sol nu avec un taux de réponse spectrale allant de 0,04 à 0,15. En revanche, les réponses des unités naturelles comme la végétation (de 0,01 à 0,1) et le plan d'eau (de 0,00 à 0,06) ont été les plus faibles. A partir de 2 μm de longueur d'onde, tous les objets ont connu une évolution similaire (figure 6).

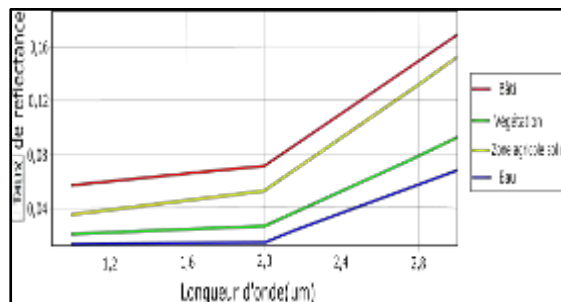


Figure 6 : Réflectance des objets du sous-bassin versant aval en 2019

4.3.1 Dynamique des signatures spectrales du sous-bassin amont de Lotio de 1990 à 2019

Il s'agit de comparer les signatures des deux dates (1990 et 2019) dont les images ont été acquises pendant la même période (novembre). A partir de 2 μm de longueur d'onde, toutes les unités ou classes ont connu une baisse du taux de réflectance puis ont évolué différemment jusqu'à 2,8 μm (infrarouge moyen) pour la période de 1990. Une dynamique similaire a été constatée pour la période 2019, cependant avec des taux inférieurs à ceux de 1990 sur le bassin amont. Il ressort des résultats de l'étude qu'en 1990 les zones agricoles et le sol nu ont manifesté une grande quantité de réflectance par rapport à l'année 2019 contrairement aux zones urbaines (figure 7). Les formations naturelles (végétation et plan d'eau) ont eu des profils assez constants de 1990 à 2019.

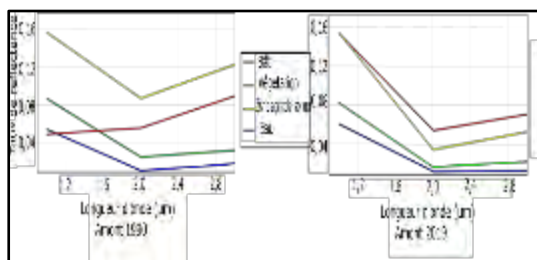


Figure 7 : Réflectance spectrale des objets du sous-bassin versant amont de Lotio entre 1990 et 2019

4.3.3 Dynamique des signatures spectrales du sous-bassin aval de Lotio de 1990 à 2019

En observant ces deux graphiques aval nous constatons que la dynamique des objets n'est pas similaire (figure 8). Les unités bâti et zones agricoles et sol nu ont eu des profils irréguliers en 1990 contre des profils assez standards en 2019. Cela peut s'expliquer par la présence des anomalies d'ordre naturelle (irrégularité des pluies, interférences ou bruits atmosphériques, etc.). Entre les deux dates (1990 et 2019), la dynamique des unités anthropiques a été inversement proportionnelle à celle des formations naturelles (figure 8). De 1990 à 2019, la végétation a connu un taux de réflectance assez régulier. En revanche, le profil 1990 du plan d'eau de 1990 a montré une réaction atypique par rapport à

celui de 2019. Sur les deux périodes (1990 et 2019), les formations anthropiques (bâti, zones agricoles et sol nu) ont eu plus de taux de réflectance que le plan d'eau et la végétation. Cela est dû à la présence de l'humidité car l'augmentation de la teneur en eau se traduit par une diminution générale de la réflectance à toutes les longueurs d'onde [1].

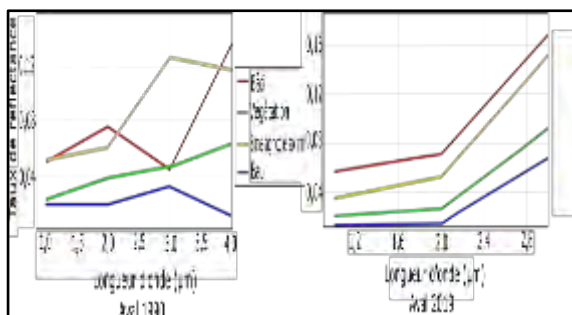


Figure 8 : Réflectance spectrale des objets du sous-bassin versant aval de Lotio entre 1990 et 2019

4.4 Analyse d'occupation du sol du sous-bassin amont de 1990 à 2019

L'analyse des images TM et OLI a permis de distinguer 4 (quatre) classes d'occupation et d'utilisation du sol à savoir le bâti, la végétation, la zone agricole et sol nu, et le plan d'eau.

Dans l'ensemble les unités d'occupation ont été bien classées avec une précision totale de 0,98% comme *coefficient kappa* pour les deux sous-bassins versant d'étude. La figure 9 ci-dessous illustre les unités d'occupation du sol du sous-bassin versant amont du Lotio entre 1990 et 2019 ainsi que la proportion de couverture de chaque unité. L'unité végétation a diminué au profit des autres formations (zones agricoles en l'occurrence) soit 85% en 1990 contre 80% en 2019. En revanche, le bâti a progressé de 3% en 1990 à 6% en 2019 au dépend des zones agricoles et du sol nu.

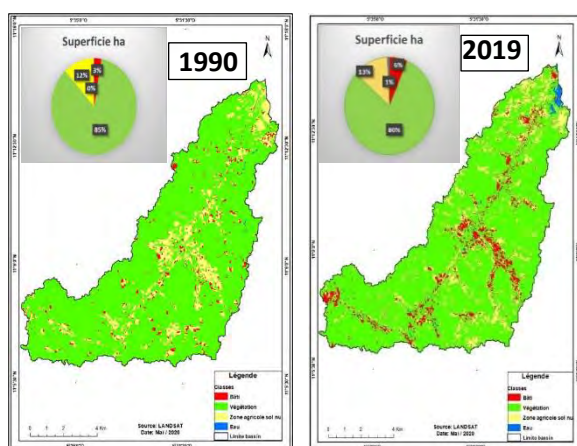


Figure 9 : Occupation du bassin versant amont de Lotio en 1990 et 2019

4.4.1 Analyse d'occupation du sol du sous-bassin aval entre 1990 et 2019

Les traitements des images TM et OLI ont permis d'obtenir quatre unités d'occupation et d'utilisation du sol à savoir le bâti, la végétation, la zone agricole et le sol nu et le plan d'eau. Ainsi, la figure 10 illustre la distribution spatiale des unités d'occupation du sol du sous-bassin versant aval du Lotio entre 1990 à 2019 avec leur taux de couverture.

La formation végétation a connu une diminution contrairement aux autres formations anthropiques soit 86% en 1990 contre 81% en 2019. D'autre part l'unité bâti a progressé de 8% en 1990 à 13% en 2019, au dépend des zones agricoles et du sol nu.

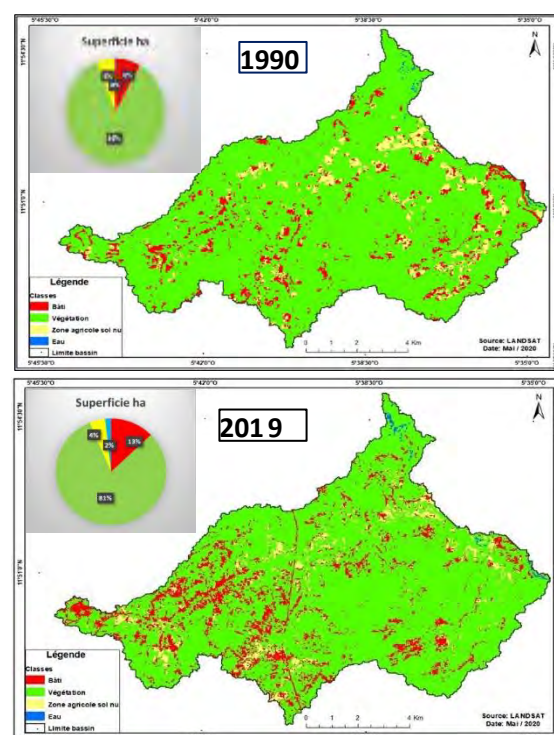


Figure 10 : Occupation du bassin versant aval de Lotio en 1990 et 2019

V. Discussion

La réflectivité spectrale est le pourcentage de lumière réfléchi par la surface d'un objet en fonction de ses propriétés intrinsèques et de la longueur d'onde. Elle est unique pour les objets naturels ou artificiels. Les résultats de la dynamique des signatures spectrales des formations paysagiques dans le bassin versant de Lotio entre 1990 et 2019 sont en accord avec les résultats de [1]. D'après nos résultats les objets qui ont la réflectance la plus élevée sont le bâti, les zones agricoles et les sols nus avec un taux variant entre 0,4 à 0,15 sur une longueur d'onde évoluant de 1 µm à 3 ou 4µm. Cette élévation du taux dépend de la composition minéralogique, de la rugosité de surface, de la teneur en matière organique, de la granulométrie et de la teneur en eau. Plus la teneur en eau est forte, plus la réflectance d'eau et de végétation diminue.

Nos résultats montrent que le plan d'eau et la végétation ont de faibles taux de réflectance entre 1990 et 2019 (évoluant entre 0,0 à 0,9). Ces résultats ont été confirmés aussi par des auteurs comme [9]. Selon [9], les signatures spectrales peuvent être très variables pour la même cible et peuvent aussi varier dans le temps et dans l'espace car elles sont influencées par les conditions atmosphériques (climatiques notamment).

VI. Conclusion

La dynamique des signatures spectrales des formations naturelles et anthropiques dans le bassin versant de Lotio entre 1990 et 2019 a été évaluée grâce à la potentialité qu'offrent les outils de la télédétection et des systèmes d'information géographique (SIG). Cette approche de la télédétection et des SIG a permis d'appréhender la dynamique des signatures spectrales en fonction des unités paysagiques et de la longueur d'onde dans deux sous-bassins versant de Lotio.

Il ressort des analyses que les deux sous bassins étudiés, bien qu'ayant des superficies identiques, ont des formes morphologiques différentes. Le sous-bassin amont est allongé tandis que le sous-bassin aval est proche de la forme ovale à circulaire.

Quant aux signatures spectrales, l'analyse des résultats a fait apparaître que les objets n'ont pas des évolutions spectrales similaires, mais les objets dont le taux de réflectance est le plus élevé sont le bâti, les zones agricoles et le sol nu contrairement à la végétation et au plan d'eau qui ont de faibles taux de réflectance. Le faible taux de réflectance de la végétation et du plan d'eau est dû à la présence de l'humidité car l'augmentation de la teneur en eau se traduit par une diminution générale de la réflectance à toutes les longueurs d'onde.

Cette recherche a montré une diminution des zones occupées par la végétation tant en amont qu'en aval du bassin versant du Lotio sur la période étudiée (de 1990 à 2019). Par contre les unités anthropiques (zones urbaines et zones agricoles) ont connu une augmentation de leurs surfaces au détriment des formations naturelles.

Remerciement

Les auteurs de cet article tiennent à remercier toutes les revues scientifiques particulièrement le MSAS pour leur engagement à promouvoir de la recherche au Mali et dans le monde.

Références

[1] Bowers S. A. and R. J. Hank. (1965): *Reflection of radiant energy from soils*, United States Department of Agriculture Research Service U.S. Department of Agriculture for official use, article, 9p.

[2] Eric F. Lambin une, BL Turner b, Helmut J. Geist une, Samuel B. Agbola c, Arild Angelsen ré, John W. Bruce e, Oliver T. Coomes F, Rodolfo Dirzo g, Gu u.nther Fischer h, Carl Folke je, PS George j, Katherine Homewood k, Jacques Imbernon l, Rik Leemans m, Xiubin Li n, Emilio F. Moran o, Michael Mortimore p, PS Ramakrishnan q, John F. Richards r, Helle Skaa (nda s, Will Ste ff en t, Glenn D. Stone u, Uno Svedin v, Tom A. Veldkamp w, Coleen Vogel X, Jianchu Xu y. (2001) : *Les causes de l'utilisation des terres et du changement de couverture terrestre : aller au-delà des mythes* (Global Environmental Change), article 10p.

[3] J. Kevin Thompson et Leslie J. Heinberg. (1999): *The Media's Influence on Body Image Disturbance and Eating Disorders: We've Reviled Them, Now Can We Rehabilitate Them?* University of South Florida, article, 16p.

[4] Jean-Paul Lacombe et David Sherren (2007) : *La télédétection principes et applications*. Ecole Normale Supérieure Agronomique de Toulouse, Département Agronomie et Environnement, cours de télédétection aérospatiale, 81p.

[5] Mahamadou Camara. (2016) : *Comportement hydrologique d'un bassin versant en milieu péri-urbain : Rivière de kalabankoro à Bamako*, Université des sciences sociales et de gestion de Bamako, Mali, mémoire de maîtrise, 64p.

[6] Marie Scouart & Eric F Lambin (2006) : *Approche systématiques des causes de la déforestation en Amazonie Brésilienne : syndromes, synergies et rétroactions*, Département de géographie, université catholique de Louvain Place Louis Pasteur, article, 15p.

[7] Pauline Dusseux (2014) : *Exploitation de séries temporelles d'images satellites à haute résolution spatiale pour le suivi des prairies en milieu agricole*. Géographie. Université

[8] Robert A. Schowengerdt (1997) : *Model and Methods for image Processing*, Departement of Electrical and computer Engineering, University of Arizona Tucson, Arizona, 522 p.

[9] Ross S. Lunetta¹, Joseph F. Knight¹, Jayantha Ediriwickrema, John G. Lyon, and L. Dorsey Worthy (2006): *Land-Cover Change Detection Using Multi-Temporal MODIS NDVI Data*, 44p.

[10] Saeid, Homayouni (2005) : *Caractérisation des scènes urbaine par analyse des images hyper-spectrales*. Ecole Normale Supérieure des Télécommunications de Paris, 175p.

[11] Sounon Bouko, B. Sinsin¹ & B. Goura Soulé. (2007) : *Effet de la dynamique d'occupation du sol sur la structure et la diversité floristique des forêts*

claires et savanes au, Laboratoire d'Ecologie Appliquée, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Benin, article, 8p.

[12] Stacy L. Ozesmi et Marvin E. Bauer. (2002): *Satellite remote sensing of wetlands. Department of Forest Resources, University of Minnesota, St Paul, Minnesota 55108,*

[13] Tak youssif Gnongbo (2003) : Mise en valeur agricole et evolution du milieu naturel dans la zone forestière du litimé (Togo) *paysannerie africaines et développement, universitaires de Bordeaux, article, 13p.*

Recyclage de la grave lateritique lithostabilisée améliorée en émulsion de bitume pour la couche de fondation

Mahamadou SOUMARE¹, Moussa THIAM², Youssouf BERTHE¹, Younoussa TANGARA³, Amadou KANOUTE³

¹Ecole Nationale D'Ingénieurs Abderhamane Baba Touré

²Ecole Normale d'Enseignement Technique et Professionnelle

³Cira Mali

RESUME : L'utilisation des graveleux latéritiques en construction routière présente un intérêt évident dans les pays tropicaux et plus particulièrement au Mali. Géologiquement parlant, le graveleux latéritique est un matériau très abondant, accessible et moins coûteux. En plus de ces caractéristiques, son utilisation dans la structure de chaussée et le corps des remblais dépend de plusieurs paramètres :

- Sa qualité,
- La nature de la chaussée,
- L'environnement

Dans le cadre de notre projet, compte tenu de la nature du trafic (T5 ou routes plus fréquentées), la classe de la plateforme (S4) et le calcul de dimensionnement des chaussées, cette latérite malgré sa bonne qualité vis à vis du Cahier de Clause Technique Particulière (CCTP) ne répond pas à elle seule les exigences demandées dans le calcul de dimensionnement pour la couche de fondation d'où, l'intérêt de son amélioration.

Dans cette perspective d'améliorer la latérite, le choix s'est porté sur l'utilisation d'une émulsion de bitume ECL 60 dosée à 2.5 % selon l'étude de formulation.

Ce procédé étant en phase de recherche, aucune norme officielle n'a été approuvée à ce jour.

Nonobstant, les Sud-africains étant très avancés dans cette technique ont réussi à mettre en place certain guide tel que le guide AIPCR (Association Internationale Permanente des Congrès de la Route) qui donne les conditions d'utilisation d'émulsion de bitume.

Les matériaux doivent être dans un fuseau déterminé par le guide pour qu'ils soient améliorables avec l'émulsion de bitume (Association Mondiale de la Route).

La latérite à elle seule ne répondant pas à toutes les spécifications du guide d'où la nécessité d'apporter un peu de renforcement au squelette granulaire (concassé 0/20).

Ainsi, la structure de chaussée adoptée pour notre projet est la suivante :

- 05 cm de BBME2 de 3800 MPA,
- 09 cm de GB4 de 3500 MPA,
- 30 cm de RAE (latérite + concassé 0/20 + émulsion de bitume) de 2000MPA
- Plateforme (S4) PF4 de 200 MPA

A la fin de notre étude, nous tirons la conclusion que ce retraitement a amélioré d'une part la qualité du matériau de l'ancienne structure et d'autre part il permet de garder le caractère souple de la chaussée. Toutefois, il faut approfondir les études afin d'aboutir à des textes normatifs qui le concerne.

Mots clés : Graveleux latéritique, Concassé de granite, Emulsion de bitume, Recyclage Améliorée à l'Emulsion (RAE)

ABSTRACT: The use of lateritic gravels in road construction is of obvious interest in tropical countries and more particularly in Mali. Geologically speaking, the lateritic gravelly is a very abundant, accessible and less expensive material. In addition to these characteristics, its use in the pavement structure and the body of embankments depends on several parameters:

- Its quality,
- The nature of the road,
- The environment

Within the framework of our project, taking into account the nature of the traffic (T5 or more frequented roads), the class of the platform (S4) and the calculation of the dimensioning of the pavements, this laterite despite its good quality with respect to the Specifications Particular Technical Clause (SPTC) alone does not meet the requirements requested in the sizing calculation for the foundation layer, hence the benefit of its improvement.

With a view to improving the laterite, the choice fell on the use of an ECL 60 bitumen emulsion dosed at 2.5% according to the formulation study.

As this process is in the research phase, no official standard has been approved to date.

Notwithstanding, the South Africans being very advanced in this technique have succeeded in putting in place certain guide such as the guide PIARC (Permanent International Association of Road Congress) which gives the conditions of use of bitumen emulsion.

The materials must be in a spindle determined by the guide so that they can be improved with the bitumen emulsion.

The laterite alone does not meet all the specifications of the guide hence the need to add some reinforcement to the granular skeleton (crushed 0/20).

Thus, the pavement structure adopted for our project is as follows:

- 05 cm of BBME2 of 3800 MPA,
- 09 cm of GB4 of 3500 MPA,
- 30 cm of RAE (laterite + 0/20 crushed stone + bitumen emulsion) of 2000MPA
- platform (S4) PF4 of 200 MPA.

At the end of our study, we conclude that this reprocessing has improved on the one hand the quality of the material of the old structure and on the other hand it keeps the pavement flexible. However, more studies must be done in order to come up with normative texts that concern him.

Keywords: Lastery gravel, Granite Crush, Bitumen emulsion, Enhanced Emulsion Recycling (RAE)

1. INTRODUCTION

Le Mali, vaste pays sahélien sans littoral, d'une superficie de 1 241 238 km² environ et d'une population estimée à 14,5 millions d'habitants selon le recensement général de la population et de l'habitat (RGPH 2009) est l'un des pays les plus enclavés de la sous-région.

Son enclavement le rend largement tributaire de l'extérieur quant à l'acheminement de ses produits d'exportation et d'importation.

En effet les principaux centres économiques du Mali se trouvent à plus de 1 000 km des ports maritimes les plus proches. Les distances d'Est en Ouest et du Nord au Sud sont d'environ 1 700 km. Le Mali partage ses frontières (5 200 km) avec l'Algérie au Nord, le Niger à l'Est, le Burkina Faso au Sud-est, la Côte d'Ivoire au Sud, la Guinée au Sud-ouest, le Sénégal à l'Ouest et la Mauritanie au nord-ouest. Pour ces raisons, le Gouvernement du Mali a toujours accordé une attention particulière à l'aménagement et au développement des infrastructures de transport en vue d'assurer le désenclavement intérieur et extérieur du pays.

Cette volonté se retrouve dans tous les documents de politiques et de stratégie élaborés par le

Gouvernement, notamment le Cadre Stratégique pour la Croissance et la Réduction de la Pauvreté

(CSCR) mis en œuvre avec le concours des Partenaires Techniques et Financiers au développement.

Le retraitement de chaussée à l'émulsion de bitume consiste à retraiter tout ou partie d'une chaussée avec de l'émulsion de bitume, régénérante ou non, avec ou sans apport complémentaire de granulats.

La route est un facteur de communication, de transport, de développement socio-économique et d'intégration sous régionale et régionale. Le

dimensionnement d'une route intègre plusieurs paramètres parmi lesquels l'on peut citer : le climat, le relief, l'hydrologie et l'hydrographie du cadre du projet, le trafic que la route est destinée à recevoir puis la disponibilité des matériaux de viabilité. La question de disponibilité de matériaux de viabilité est celle qui se pose de plus en plus avec acuité dans les projets routiers soit à cause de leur qualité, soit à cause de la distance d'exploitation.

Objectif global

L'objectif global du projet est de contribuer, grâce à la facilité de mobilité des agents économiques, au développement économique et social du pays.

Objectifs spécifiques

- Plus spécifiquement, le projet vise à :
- Établir une liaison urbaine, pérenne et plus sécurisée;
- Améliorer la mobilité des personnes et des biens à l'intérieur de la ville de Bamako ;
- Améliorer la fluidité du trafic ;
- Réduire le temps de parcours des usagers des tronçons de routes objet d'aménagement ;
- Améliorer la sécurité routière et le confort des usagers.

Les travaux de retraitement consisteront d'une part à recycler la couche de fondation plus la couche de revêtement de l'ancienne structure et d'autre part améliorer le matériau issu de ce recyclage. Alors quels impacts ce retraitement aura sur la qualité et la performance mécanique des matériaux ?

Pour apporter des réponses à cette question nous avons mené une étude géotechnique sur la structure avant et après retraitement. Cette étude comportera les points suivants :

- Généralités sur construction routière ;
- Présentation des techniques de retraitement des anciennes structures ;

- Application de la technique de retraitement dans le cas du chantier de réhabilitation de la route RN6 : Tour de l'Afrique ;
- Etudes expérimentales géotechnique sur le matériau avant et après amélioration et sur la structure de chaussée avant et après retraitement ;
- Etudes comparatives de la déflexion sur la chaussée avant et après retraitement.

2. METHODOLOGIE

Pour mener à bien cette étude, nous avons procéder de la façon suivante :

- Recherche documentaire des travaux antérieurs en rapport avec l'amélioration de la grave latéritique à l'émulsion de bitume ;
- Prélèvement des matériaux (graveleux latéritique à l'Etat naturel et concassée de granite) qui seront soumis aux études de laboratoire ;
- Etude du graveleux latéritique naturel : essais d'identification (analyse granulométrique, limites d'Atterberg) et de portance (Proctor, CBR) ;
- Etude du concassé de granite : essais d'identification (analyse granulométrique) et de résistance (Los Angeles, Micro Deval) ;
- Etude de l'émulsion de bitume ECL60 ;
- Etude de la grave latéritique lithostabilisée (avec du concasse 0/20) : essais d'identifications et de portance ;
- Etude du recyclage de la grave latéritique lithostabilisée à différents pourcentages d'émulsion de bitume: essais d'identifications et de portance;
- Analyse et interprétation des résultats des différents essais ;
- Application des deux techniques pour un dimensionnement sommaire du projet objet de notre étude.

- Analyses comparatives des deux techniques sur les plans de la performance mécanique, la mise en œuvre, la durabilité et le coût.

3. RESULTATS ATTENDUS

- ✓ Définir le pourcentage optimum pour les deux techniques
- ✓ Comparer les deux solutions (l'amélioration au ciment et la litho stabilisations).

BIBLIOGRAPHIE

Guide Pratique de Dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux : Le centre expérimental de recherches et d'études du bâtiment et des travaux publics CEBTP 1984

Recyclage du béton bitumineux, état d'art : Mouhoub Mohamed FOUZI 2015

Utilisation de la Technique de la Litho stabilisation en Assise de chaussée cas des travaux de renforcement du tronçon Ouaga- Po- Frontières du Ghana : JIKOLUM NGANGMIAN Emmanuel

Etude de formulation du recyclage à l'émulsion, RAZEL- BEC 2019

Recyclage des chaussées, Guides pour le traitement en place au moyens de ciment, de retraitement en place à froid à l'émulsion ou à la mousse de butine, recyclage à chaux en centrale des enrobes bitumeux : Comité technique AIPCR C7/8- Chaussées Routières 2003

Amélioration des propriétés géotechniques du graveleux latéritiques par ajout de la grave alluvionnaire concassée 0/31,5 : Articles Master de LOUIS AHOUEY RAYMOND GENTIL ELENGA, Stévyna Bouyila, Mondesir NGOULOU, Eric KENGUE 2018

Utilisation des bétons écologiques à base des déchets plastiques pour réaliser un projet d'aménagement intérieur au Mali

Moussa THIAM^{1*}, Mamadou Sanata Diarra²

¹Université d'Ottawa et Ecole Normale d'Enseignement Technique et Professionnel, Mali

²Ecole Nationale d'Ingénieurs Abderhamane Baba Touré, Mali

*Courriel de l'auteur de correspondance: mthia083@uottawa.ca

RÉSUMÉ: L'assainissement est l'un des défis majeurs dans les pays en développement en général et au Mali en particulier. Dans ce secteur essentiel, plusieurs problématiques existent, parmi lesquels nous avons la prolifération des déchets plastiques des divers genres, qui après un certain nombre d'utilisations se retrouvent dans la nature avec des conséquences néfastes sur l'homme et l'environnement. Dans cet article, nous avons exploré l'utilisation des déchets plastiques comme seul liant à la place du ciment pour développer des bétons écologiques à base des déchets plastiques. Ainsi, un état des lieux sera fait pour permettre de mieux comprendre le secteur de gestion des déchets solides au Mali et à Bamako, avant de faire une campagne expérimentale permettant d'utiliser différents teneurs en plastique pour les formulations des échantillons normalisés des bétons écologiques. Lesquels échantillons ont été soumis aux différents essais physiques, mécaniques et de perméabilité (densité, résistance, immersion, etc.) afin de tester les formulations contenant 50% et 60% pour préparer le béton écologique afin de garantir une bonne performance du nouveau produit. Les paramètres de ces formulations ont été utilisés pour préparer des pavés écologiques à base des déchets plastiques qui ont été testés selon les standards ASTM puis comparés aux pavés commerciaux à base de ciment vendus sur le marché malien. De façon générale les pavés écologiques ont à 28 jours une bonne résistance à la compression (> 10 MPa) et une bonne résistance à la traction (2 – 5 MPa), avec une déformation ductile différente de celle avec rupture brusque observée pour les pavés commerciaux à base de ciment vendus sur le marché malien. Une réalisation à grande échelle sous forme d'aménagement intérieur a été réalisée à l'ENI-ABT pour permettre de comprendre le comportement structural du béton écologique lorsqu'il est soumis aux conditions réelles d'exploitation au Mali. Les résultats ont permis de comprendre les propriétés de légèreté et d'absorption du nouveau produit écologique, avec une flexibilité dans son utilisation et ayant d'intéressantes autres propriétés permettant son utilisation pour divers projets pouvant contribuer à la réduction de l'impact des plastiques sur l'homme et l'environnement mais de surtout créer de l'emploi, spécialement pour les jeunes et femmes surtout ceux qui n'ont pas une grande qualification.

Mots-clés: Assainissement, déchets plastiques, recyclage, bétons écologiques et matériaux durables, économie et création d'emploi.

1. Introduction

Avec la modernisation de nos sociétés les habitudes ont considérablement changé, ainsi on observe une forte augmentation de la consommation des biens et des services à travers le monde en général et particulièrement au Mali (Homma 1996; Hubacek et al. 2007; Saikia & De Brito 2012). Ainsi, d'ici 2030, il est projeté d'avoir plus de 5 milliards de citoyens sur terre avec un taux d'urbanisation de plus de 60% (UN 2006 ; Véron 2007). Le cas malien est encouragé par l'exode rural et les effets du changement climatique sur les différents domaines comme l'agriculture, l'élevage, la pêche, etc. (Persoons 1987 ; Penda et al. 2020), ainsi, les populations des milieux ruraux sont contraintes de changer leurs habitudes. Ces changements couplés à l'effet de la modernisation ont amené à la forte consommation des biens et services, qui a pour conséquence directe la production massive des déchets de tous genres comme montre la Figure 1 (Homma 1996; Hubacek et al. 2007; Saikia & De Brito 2012, Thiam et al. 2021). Parmi ces déchets, nous avons les plastiques, qui peuvent rester dans la nature plus de 100 ans sans

dégradation conduisant souvent à la pollution de l'eau et des sols causant des effets néfastes sur l'Homme et l'environnement (Jambeck et al. 2015; Gu and Ozbakkaloglu, 2016; Le Siedmto 2019). Environ 12.7 million tonnes de déchets plastiques ont fini leur cycle dans l'océan en 2010 (Jambeck et al. 2015 ; Mohammadinia et al. 2019). Selon les informations de la banque mondiale 174 million tonnes de déchets solides ont été générés en Afrique Subsaharienne en 2016 avec une augmentation prévue de 54.6% à l'horizon 2030 (World Bank 2019), plus de 90% des déchets plastiques dans les pays en développement terminent leurs cycles au niveau des décharges (Gourmelon 2015).

Ces dernières décennies, la protection de l'environnement et la garantie de laisser des meilleures options aux générations futures ont été au centre des échanges nationales et internationales (Boiral 2007 ; Garbaccio et al. 2018). Ainsi les leaders, les chercheurs et les entrepreneurs à travers le monde pensent à des alternatives pour limiter les dégâts et protéger l'environnement (Boiral 2007;

Laville 2009; Garbaccio et al. 2018). Plusieurs initiatives sur le plan social, économique et scientifique ont vu le jour pour permettre de faire face aux impacts des déchets sur l'environnement avec une attention particulière sur les plastiques qui ont des conséquences notables dans nos fleuves et océans avec son lot de nuisances sur animaux aquatiques, la faune et la flore (Le Siedmto 2019).

Dans la recherche des moyens de donner une seconde vie aux déchets plastiques sont explorés, les chercheurs à travers le monde ont utilisé les déchets plastiques comme ajout au bitume, ou comme liant/granulats pour préparer des bétons et mortiers (RILEM LC2 1978; Bayasi et Zeng 1993; Jenq et al. 1993; Liang et al. 1993; Little 1993; Al-Manaseer & Dalal 1997; Soroushian et al. 2003 ; Choi et al. 2005; Batayneh et al. 2007; Marzouk et al. 2007; Ismail & Al-Hashmi 2008; Kou et al. 2009; Hannawi et al. 2010; Kaloush et al. 2010; Thiam and Fall 2020; Thiam et al. 2021). Par exemple, Batayneh et al. (2007) sont arrivés à la conclusion que les remplacements des granulats naturels par des matériaux plastiques aux taux de 20% et 5% conduisent respectivement à la réduction de la résistance à la compression du nouveau béton par 72% et 23% en prenant le béton conventionnel ne contenant pas de plastique comme référence. Bayasi et Zeng (1993) ont trouvé que l'ajout des fibres de polypropylène de 12.7 mm de long améliore la résistance à la compression du béton si le taux de substitution des matériaux granulaires par les fibres plastiques n'excède pas 0.5% et pas d'effets notables observés sur la maniabilité/consistance du nouveau type de béton.

D'un autre côté l'incorporation des plastiques dans les bétons/mortiers a conduit à la réduction des résistances à la compression et à la traction des nouveaux matériaux (Al-Manaseer and Dalal 1997; Batayneh et al. 2007; Kou et al. 2009). Al-Manaseer and Dalal (1997) ont remarqué que les bétons contenant les plastiques ont une déformation ductile différente de la rupture soudaine/brusque observée pour les bétons conventionnels. La résistance à la traction a diminué de 17% lorsque 10% des plastiques ont été ajoutés. Pour un pourcentage de plastique donné, la résistance à la traction diminue lorsque le ratio eau/ciment (E/C) augmente. Plusieurs auteurs (Al-Manaseer & Dalal 1997; Soroushian et al. 2003; Choi et al. 2005; Marzouk et al. 2007; Ismail & Al-Hashmi 2008; Kou et al. 2009; Hannawi et al. 2010) ont incorporé différents types de plastiques (polystyrène, polyvinyle chloride (PVC), polyéthylène téréphtalate PET, polycarbonate (PC), agrégats des plastiques fins, etc.), ils sont arrivés à la conclusion que les densités diminuent en fonction de l'augmentation de la quantité de plastiques. De façon générale, les valeurs des densités étaient plus petites que 2000 kg/m³, considérée par la classification RILEM LC2 comme un matériau léger (RILEM LC2,

1978). Soroushian et al. (2003) ont conclu que l'incorporation des plastiques recyclés contribue à réduire la résistance à l'abrasion du béton et Marzouk et al. (2007) ont observé une diminution de l'absorption du mortier lorsque le pourcentage de plastique atteint 50% ou plus. L'incorporation des différents types de plastiques (LDPE; Polyester; polypropylène, aramide, etc.) dans le bitume/asphalte n'ont pas diminué de façon considérable la qualité du produit final (Little 1993; Liang et al. 1993), et cet ajout a pu dans certaines mesures avoir une amélioration de la performance en permettant de réduire les fissures dues à la déformation, à la fatigue ou au choc thermique (Jenq et al. 1993; Kaloush et al. 2010).



Figure 1. Vue d'ensemble de la chaîne de gestion des déchets solides dans les communes II et IV du district de Bamako.

Thiam et al. 2021 et Thiam and Fall (2020) ont conduit les essais mécaniques, physiques et microstructuraux sur des mortiers (MPB) et bétons (PWC) contenant les déchets plastiques fondus (HDPE et LDPE) comme seul liant. Ils sont arrivés à la conclusion que ces produits (MPB et PWC) avec leurs poids légers peuvent respecter certaines exigences dans le domaine de la construction en permettant de faire des réalisations flexibles tout en réduisant les charges sur l'environnement. Nombre de réalisations ont été faites, mais à cause du manque des données sur les comportements à long terme des produits contenant les déchets plastiques comme liant/granulat et de peu d'analyse de cycle de vie de ces produits, leurs utilisations structurales sont encore très limitées dans la pratique de l'ingénieur (Thiam et Fall 2020; Thiam et al. 2021). Cet article s'inscrit dans le cadre de l'exploration des

comportements à grande échelle des pavés faits à base de béton écologique utilisant les déchets plastiques (HDPE et LDPE) fondus comme seul liant. Les résultats vont nous permettre de comprendre certaines propriétés physiques et mécaniques du produit tout en se faisant plus d'idées en performant certains tests sur les pavés à base de ciment portland vendus sur le marché Bamakoïse afin d'arriver à des recommandations futures.

2. Matériels

2.1 Matériaux granulaires

Les granulats naturels (gravier et sable) montrés sur la Figure 2 ont été tamisés en suivant la procédure du standard ASTM C136 / C136M. Deux groupes de granulats naturels ont été utilisés pour la préparation des bétons écologiques à base des déchets plastiques comme indiqué sur la Figure 3.



Figure 2. Images des matériaux granulaires utilisés lors de nos travaux (Provenant des berges du fleuve Niger, Kalaban – Coro, Bamako, Mali.).

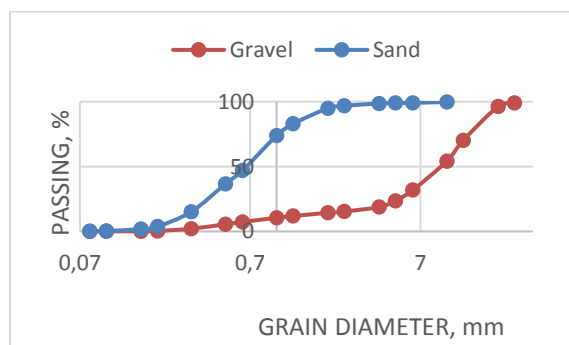


Figure 3. Courbes d'analyse granulométrique du sable et du gravier utilisés lors des travaux.

2.2 Déchets plastiques

Deux types de déchets plastiques ont été utilisés, à savoir le Polyéthylène Haute densité (HDPE) et le polyéthylène basse densité (LDPE). Ces matériaux ont collecté au niveau de la décharge contrôlée de Medina-Coura dans la commune 2 du district de Bamako avant d'être conditionner et couper pour avoir les dimensions souhaitées. Figure 4 présente les échantillons des déchets plastiques utilisés lors de nos expériences.

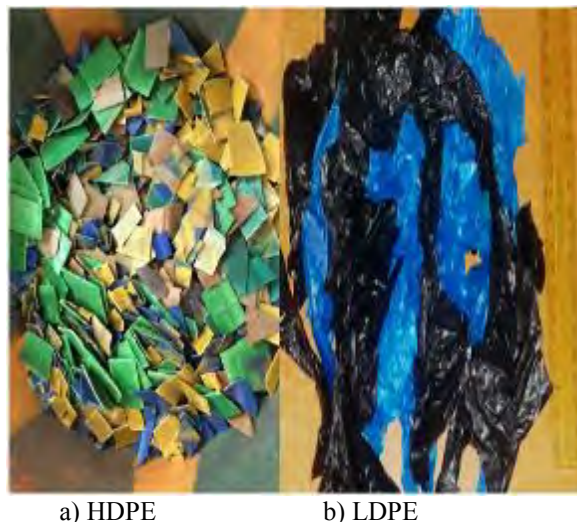


Figure 4. Illustrations des échantillons des déchets plastiques a) LDPE and b) HDPE utilisés lors de la préparation des bétons écologiques

3. Préparation et conditions de durcissement (cuire) des échantillons

Les échantillons de béton conventionnel à base de ciment portland ont été préparé et utilisé comme référence pour permettre de mieux comprendre les propriétés du nouveau produit. Le mélange de béton traditionnel fait avec de l'eau du robinet et le ciment portland de type I comprenait un ratio eau/ciment (W/C) de 0.5 et granulats (sable gravier) /ciment de 3. Les conditions de durcissement et cuire ont été respecté pour chaque essai afin de minimiser la variabilité des résultats.

A partir des travaux antérieurs (Thiam et Fall 2020, Thiam et al. 2021) sur les mortiers (MPB) et bétons (PWC) écologiques à base des déchets plastiques (HDPE et LDPE), certains paramètres ont été optimisé. Ainsi, dans cet article, les échantillons des bétons écologiques (GS) seront préparés en utilisant différentes teneurs en plastiques (P) par rapport à la masse des granulats initialement pesée et ratio H/L exprimant le rapport entre HDPE et LDPE choisi pour faire le mélange (Tableau 1). Les matériaux granulaires avec leurs quantités choisies sont introduits dans le four manuel à haute température, puis les déchets plastiques ont été ajouté et la température prise régulièrement. Pendant un temps de 20 à 45 min le mélange dans le four à une température moyenne d'environ 250°C avec une température du milieu extérieur oscillant entre 24 et 30°C, les échantillons liquides des bétons écologiques contenant 30% de gravier-sable (< 2 mm) et 70% de sable fin (2 mm à 4.75 mm) ont été préparé. Figure 5 présente certains échantillons de béton écologique (GS) coulés dans les moules métalliques lubrifiés au préalable pour faciliter les démoulages avant de les placer dans les conditions appropriées pour le durcissement pour des fins des tests complémentaires aux différents âges.



Figure 5. Echantillons des bétons écologiques (GS) à base des déchets plastiques avant et après démoulage.

Tableau 1: Formulation des bétons écologiques (GS) utilisant les déchets plastiques fondus (HDPE et LDPE) comme seul liant.

Béton écologique	Type de liant	Plastiques (%)	HDPE / LDPE	Granulats	Temps de cure (jrs)
GS 50% P - H/L 50/50	HDPE - LDPE	50	50/50	Sand and Gravel	1, 3, 7, 28
GS 60% P - H/L 50/50	HDPE - LDPE	50	50/50	Sand and Gravel	1, 3, 7, 28

F: Teneur en plastique (50) en rapport à la masse de granulats (sable et gravier). H/L: ratio de HDPE / LDPE

4. Les essais / tests expérimentaux

Les essais des résistances à la compression et à la traction ainsi que la détermination de la densité des matériaux ont été conduits en suivant les procédures ASTM C39 / C39M – 18; ASTM C496 / C496M – 17 et ASTM C 138 / C138M - 17a, respectivement. Chaque test a été répété au moins trois fois pour s'assurer de la fiabilité des résultats.

Les procédures de l'ASTM C97 / C97M – 18 ont été employé pour déterminer l'absorption par immersion des différents spécimens. Les échantillons cylindriques ont été mis au four pendant 48 heures à une température de 60°C. Après cela les échantillons ont été pesé avant d'être placé dans un récipient contenant de l'eau à une température de (23 ± 2°C). La différence de masse avant et après immersion nous permet d'avoir l'absorption par immersion, qui est liée à la porosité de l'échantillon.

5. Résultats et interprétations

La Figure 6 présente les valeurs des densités en fonction de l'âge pour les bétons écologiques (GS) contenant 50% et 60% de plastiques avec une quantité égale de HDPE et LDPE. De façon générale les valeurs des densités sont variables en fonction du temps et du pourcentage de plastiques. Pour les échantillons GS60 avec une plus grande quantité de déchets plastiques, la densité semble sensiblement plus petite que pour les échantillons GS50 qui auront un peu plus de matériau granulaire pour remplir le moule (Marzouk et al. 2007 ; Thiam et Fall 2020). Indépendamment de la teneur en plastique et du ratio H/L, les échantillons GS ont une densité moyenne

autour de 2 g/cm³, considérée par la classification RILEM comme un matériau de construction léger (RILEM, 1978). Les densités des échantillons GS sont plus grandes que celles des plastiques vierges (0.915 – 0.940 gcm⁻³ pour LDPE et 0.940 – 0.965 gcm⁻³ HDPE) et légères plus que celle du ciment utilisé pour préparer le béton conventionnel (2.8 g/cm³) (HDPE 2021; LDPE 2021; Thiam et Fall 2021).

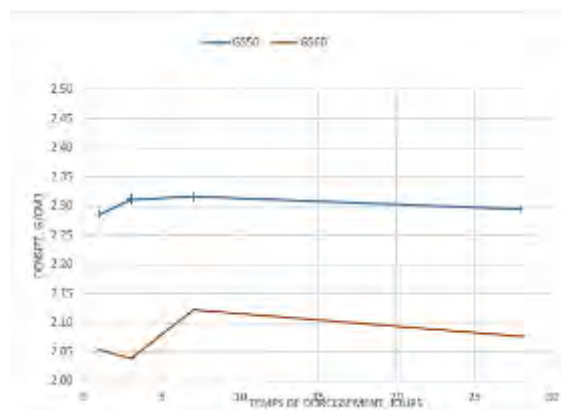


Figure 6. Densité du béton écologique (GS) pour différentes teneurs en plastiques.

La Figure 7 présente les résultats de l'absorption par immersion pendant 48h des échantillons de bétons écologiques (GS) contenant 50% et 60% de plastiques avec un ratio HDPE/LDPE de 50-50. L'absorption de ce nouveau matériau nous permet de savoir la facilité par laquelle il se laisse traverser par l'eau (ASTM C97 / C97M – 18 ; Marzouk et al. 2007), ce qui nous permet de savoir que ce matériau est poreux. Aussi, avec la différence entre les valeurs de l'absorption, les échantillons de GS60 semblent avoir plus de pores que les bétons écologiques GS50, ce qui va avoir des impacts sur les valeurs des résistances mécaniques (Marzouk et al. 2005 ; Marzouk et al. 2007). Mais indépendamment de la teneur en plastique, les bétons écologiques (GS) ont eu une valeur de l'absorption par immersion nettement plus faible que le béton conventionnel dû à l'eau présente dans le béton traditionnel qui contribue à créer des pores lors du processus de durcissement (Marzouk et al. 2005 ; Marzouk et al. 2007 ; Thiam et Fall 2021).

Les résultats des résistances à la compression sur les échantillons GS des bétons écologiques contenant 50% et 60% de plastiques après 28 jours de durcissement sont indiqués sur la Figure 8. Les valeurs des résistances à la compression à 28 jours sont plus grandes pour les échantillons GS50, dû à la faible porosité des échantillons GS50 observés plus haut que GS60 (Marzouk et al. 2005 ; Marzouk et al. 2007; Thiam et Fall 2021). Les valeurs des résistances à 28 jours sont plus grandes que 10 MPa, qui dépasse la valeur des résistances d'un béton lorsque tous les matériaux granulaires (sables) ont été

remplacé par les déchets plastiques (Marzouk et al. 2007).

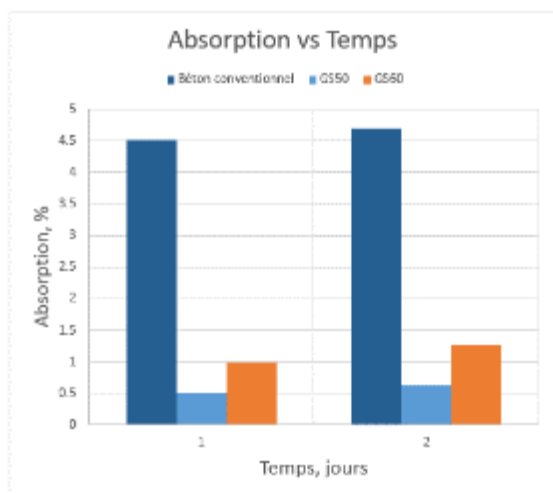


Figure 7. Absorption par immersion vs temps pour les échantillons de bétons écologiques (GS) et conventionnel

D'un autre côté, les résistances à la compression à 28 jours des échantillons (GS) sont comprises entre 2 et 5 MPa, valeurs semblables à celles trouvées pour les matériaux cimentaires contenant les déchets plastiques comme substitut, ajout, ou liant pour préparer des matériaux à base des déchets pastiques (Marzouk et al. 2005 ; Marzouk et al. 2007; Thiam et Fall 2021).

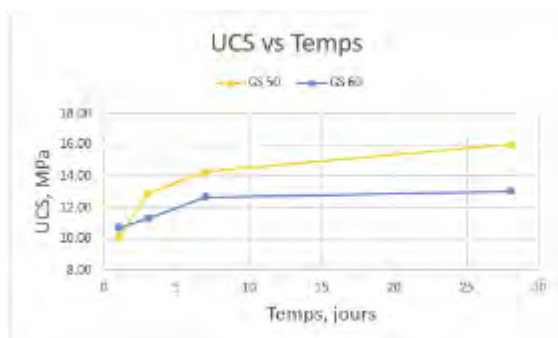


Figure 8. Résistance à la compression (UCS) en fonction du temps des échantillons des bétons écologiques (GS)

La Figure 9 montre un exemplaire de courbe contrainte-déformation pour la formulation GS60 après 28 jours de durcissement. La forme est semblable à celle des matériaux cimentaires conventionnels avec une phase ascendante de la courbe, où l'augmentation de la contrainte amène vers une augmentation de la déformation (Song and Hwang 2004, Hannawi et al. 2010, Thiam and Fall 2020). Après la contrainte maximale, la rupture se produit après une certaine période qui nous permet d'apprécier la capacité du matériau de tenir sous l'effet des charges avant la désintégration totale. Les déformations longitudinales, transversales et

localisées sont les types généralement observés pour ces matériaux écologiques GS (Hannawi et al. 2010, Thiam et Fall 2020 ; Thiam et al. 2021) comme le montre la Figure 9. Aussi les déformations sont ductiles pour les bétons écologiques GS, différent des ruptures brusques observées pour les bétons conventionnels faits à base de ciment (Hannawi et al. 2010, Thiam and Fall 2020).



Figure 9. Exemple de courbe contrainte déformation pour un échantillon GS60 de béton écologique après 28 jours de durcissement.

6. Applications et implications futures

Avec l'intérêt pour les recyclages des déchets plastiques, plusieurs initiatives ont vu le jour mais à date peu de réalisations à grandes échelles sont réalisées en utilisant les déchets plastiques (HDPE et LDPE) fondus comme seul liant pour préparer des nouveaux matériaux écologiques (Saika and de Brito, 2012; Silva et al. 2013 ; Silva and de Brito, 2018). Ces limitations peuvent être liées aux propriétés techniques du matériau à long terme ainsi qu'aux manques d'analyse du cycle de vie du nouveau produit (Thiam et al. 2020 ; Thiam et Fall 2021). Pour contribuer au renforcement des connaissances, les résultats de nos travaux ont été employés pour préparer des pavés écologiques à base des déchets plastiques à partir de nos formulations puis comparés aux pavés commerciaux traditionnels à base de ciment vendus sur le marché malien Figure 10 (a and b).



a) Echantillons de pavés écologiques issus de nos travaux.



b) Pavés conventionnels vendus sur le marché de Bamako.

Figure 10. Pavés écologiques (GS) et conventionnel avant et après le test de compression.

A partir des formulations des pavés écologiques, une section de la cour de l'ENI-ABT qui était endommagée fut rénovée en utilisant nos produits (Figure 11). Après la réalisation, nous avons récoltés des avis de certains étudiants et travailleurs de l'école qui ont bien apprécié les travaux et pensent que cette réparation contribuera à améliorer la santé et la sécurité des personnes qui fréquentent l'établissement ainsi que réduire l'impact de cette section dégradée sur les engins des étudiants et travailleurs. Les retours sont encourageants et d'autant plus si nos déchets peuvent être des ressources pour nous permettre de protéger l'environnement et créer de la valeur.



Figure 11. Réalisations d'une section de pavage dans la cour de l'Ecole de Nationale d'Ingénieurs (ENI-ABT) de Bamako.

Les produits GS avec une haute plasticité et un comportement ductile, faits à base des déchets plastiques ont un poids léger (2235 g) par comparaison aux pavés traditionnels en ciment vendus à Bamako (entre 3735 g et 3914g). Ces qualités de légèreté peuvent faire des avantages supplémentaires au nouveau produit quant au transport, à la pollution et à la flexibilité dans son utilisation (Silva and de Brito, 2018).

Dans le but de renforcer la compréhension du nouveau produit, les échantillons des pavés à base des déchets plastiques et ceux au ciment vendus sur le marché ont été soumis aux tests de compression et de traction. Figures 12 and 13 présentent les courbes des forces appliquées en fonction du déplacement sous la compression et la traction des deux types de pavés (Thiam et al. 2020).

Pour une même charge appliquée, les déformations sont faibles pour les pavés à base de ciment et la rupture semble brusque/brutale pour ce type de matériau. Par contre les pavés écologiques GS ont un comportement ductile avec une période de résistance

après la charge maximale à la rupture. Ces propriétés du nouveau produit seront intéressantes pour le cycle de chargement-déchargement des futures structures utilisant afin d'avoir une valeur ajoutée sur le comportement de durabilité et d'abrasion pour les futures structures flexibles faites avec ces matériaux.

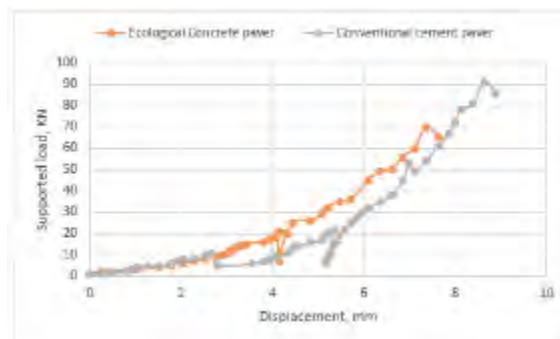
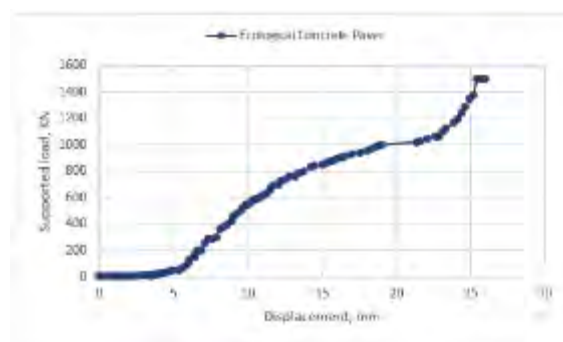
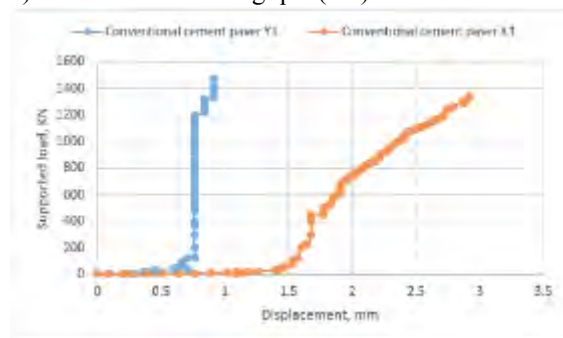


Figure 12. Force de traction vs déplacement pour le béton conventionnel et écologique (GS).



a) Pavé de béton écologique (GS)



b) Pavés de béton conventionnel

Figure 13. Force de compression vs déplacement pour les pavés de bétons conventionnel et écologique (GS).

7. Conclusions et recommandations

Dans cet article la faisabilité d'utiliser les déchets plastiques (HDPE et LDPE) fondus comme seul liant à la place du ciment sans utilisation d'eau pour développer des nouveaux matériaux écologiques de construction était explorée. Plusieurs tests ont été faits et d'intéressants résultats trouvés. A la lumière des travaux effectués, on peut tirer les conclusions suivantes :

- La réalisation des pavés écologiques à partir des déchets plastiques peut être un bon moyen de réduire

l'impact des déchets sur l'Homme et l'environnement tout en créant de la valeur pour les jeunes et femmes déscolarisés ou venant des milieux défavorisés

- Les propriétés des résistances (traction et compression) sont prometteuses pour le nouveau produit et peut permettre de faire des réalisations flexibles pour les routes secondaires, dalles de latrine ou d'autres éléments non structurelles.

- Le produit est léger avec une propriété intéressante de plasticité lui permettant d'avoir une déformation ductile capable de supporter les charges un certain temps après la rupture tout en assurant de l'économie dans le transport du produit et son lot d'émissions de gaz à effet de serre

- Le nouveau produit écologique est poreux avec un taux d'absorption plus faible que les produits à base des ciments traditionnels dû aux propriétés hydrophobes des liants plastiques, qui peuvent être intéressantes pour la durabilité si le matériau est exposé à un environnement agressif

Malgré les multiples résultats intéressants du nouveau produit, il sera plus approprié d'approfondir les travaux de R&D afin d'arriver à l'analyse du cycle de vie ainsi que le cout de façon approfondie avant de rédiger les futures recommandations pour son application pour des grands projets de construction.

References

Al-Manaseer, A. A., & Dalal, T. R. (1997). Concrete containing plastic aggregates. *Concrete International*, 19(8), 47-52.

Batayneh, M., Marie, I., & Asi, I. (2007). Use of selected waste materials in concrete mixes. *Waste management*, 27(12), 1870-1876.

Bayasi, Z., & Zeng, J. (1993). Properties of polypropylene fiber reinforced concrete. *Materials Journal*, 90(6), 605-610.

Boiral, O. (2007). *Environnement et gestion: de la prévention à la mobilisation*. Presses Université Laval.

Choi, Y. W., Moon, D. J., Chung, J. S., & Cho, S. K. (2005). Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. *Cement and concrete research*, 35(4), 776-781.

Garbaccio, G. L., Lima, F. D. S., & Siqueira, L. N. (2018). L'atmosphère comme un patrimoine et les générations futures: des questions juridiques-politico-économiques pour le droit humain au climat. *Revista Jurídica da Presidência*, 20(122), 566-595.

Gourmelon, G. (2015). Global plastic production rises, recycling lags. *Vital Signs*, 22, 91-95.

Gu, L., & Ozbakkaloglu, T. (2016). Use of recycled plastics in concrete: A critical review. *Waste Management*, 51, 19-42.

Hannawi, K., Kamali-Bernard, S., & Prince, W. (2010). Physical and mechanical properties of mortars containing PET and PC waste aggregates. *Waste management*, 30(11), 2312-2320.

HDPE (2021) High-density polyethylene, This page was last edited on 12 March 2019, at 16:43 (UTC) Wikipedia, the Free Encyclopedia. Spotted on April 23 (2018). https://en.wikipedia.org/wiki/High-density_polyethylene, Accessed 23rd June 2021

Hubacek, K., Guan, D., & Barua, A. (2007). Changing lifestyles and consumption patterns in developing countries: A scenario analysis for China and India. *Futures*, 39(9), 1084-1096.

Homma, A. K. O. (1996). Modernisation and technological dualism in the extractive economy in Amazonia. *Current issues in non-timber forest products research*, 59-82.

Ismail, Z. Z., & Al-Hashmi, E. A. (2008). Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement. *Waste management*, 28(11), 2041-2047.

Jenq, Y. S., Liaw, C. J., & Lieu, P. (1993). Analysis of crack resistance of asphalt concrete overlays – a fracture mechanics approach. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1388, 160-166

Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., ... & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771.

Kaloush, K. E., Biligiri, K. P., Zeiada, W. A., Rodezno, M. C., & Reed, J. X. (2010). Evaluation of fiber-reinforced asphalt mixtures using advanced material characterization tests. *Journal of Testing and Evaluation*, 38(4), 400-411.

Kou, S. C., Lee, G., Poon, C. S., & Lai, W. L. (2009). Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes. *Waste Management*, 29(2), 621-628.

Laville, E. (2009). *L'entreprise verte: le développement durable change l'entreprise pour changer le monde*. Pearson Education France.

LDPE (2021). Polyéthylène basse densité, La dernière modification de cette page a été faite le 16 mai 2018 à 21:44. Dans Wikipédia, l'encyclopédie libre. Repéré le 23 avril 2018 à <https://fr.wikipedia.org/wiki/Poly%C3%A9thyl%C3>

%A8ne_basse_densit%C3%A9 (Accessed 23 June 2021).

Le Siedmto, Syndicat Intercommunal d'Élimination des Déchets Ménagers du Territoire d'Orient (2019). Au quotidien trions malin! <http://www.siedmto.fr/tri-et-prevention-des-dechets/duree-de-vie-des-dechets/>. Visité le 13 mai 2019.

Liang, Z. Z., Woodhams, R. T., Wang, Z. N., & Harbinson, B. F. (1993). Utilization of recycled polyethylene in the preparation of stabilized, high performance modified asphalt binders. In *Use of Waste Materials in Hot-Mix Asphalt*. ASTM International.

Little, D. N. (1993). Enhancement of asphalt concrete mixtures to meet structural requirements through the addition of recycled polyethylene. In *Use of Waste Materials in Hot-Mix Asphalt*. ASTM International.

Marzouk, O. Y., Dheilily, R. M., & Queneudec, M. (2005). Valorisation des déchets d'emballages plastiques dans les matériaux de construction. *Récents Progrès en Génie des Procédés*, 92 (2005)

Marzouk, O. Y., Dheilily, R. M., & Queneudec, M. (2007). Valorization of post-consumer waste plastic in cementitious concrete composites. *Waste management*, 27(2), 310-318.

Mohammadinia, A., Wong, Y. C., Arulrajah, A., & Horpibulsuk, S. (2019). Strength evaluation of utilizing recycled plastic waste and recycled crushed glass in concrete footpaths. *Construction and Building Materials*, 197, 489-496.

Penda, S., Mohamed, D., Synnevåg, G., & Kouriba, A. (2020). Stratégies d'adaptation à la variabilité climatique des exploitations agricoles de la zone du Système Faguibine au Mali.

Persoons, C. (1987). La mécanisation dans les exploitations agricoles d'un village du Mali Sud: conséquences économiques et sociales (Doctoral dissertation, CIRAD-MESRU).

Recommandation de la RILEM LC2, 1978. Classification fonctionnelle des betons légers, n 64, 11. 281.

Saikia, N., & De Brito, J. (2012). Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: A review. *Construction and Building Materials*, 34, 385-401.

Silva, R. V., de Brito, J., & Saikia, N. (2013). Influence of curing conditions on the durability-related performance of concrete made with selected plastic waste aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 35(1), 23-31.

Silva, R. V., & de Brito, J. (2018). University of Lisbon, Lisbon, Portugal. *Waste and Supplementary Cementitious Materials in Concrete: Characterisation, Properties and Applications*, 199.

Song, P. S., & Hwang, S. (2004). Mechanical properties of high-strength steel fiber-reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 18(9), 669-673.

Soroushian, P., Plasencia, J., & Ravanbakhsh, S. (2003). Assessment of reinforcing effects of recycled plastic and paper in concrete. *Materials Journal*, 100(3), 203-207.

STRATÉGIE DE GESTION DES DÉCHETS SOLIDES À BAMAKO (SGDS-B), © Projet Développement Urbain et Décentralisation, Banque Mondiale ITF N°004-MLI, Gouvernement de la République du Mali;

Thiam, M., & Fall, M. (2021). Engineering properties of a building material with melted plastic waste as the only binder. *Journal of Building Engineering*, 44, 102684.

Thiam M et Fall M. (2020). Mechanical, physical and microstructural properties of a mortar with melted plastic waste binder. *Construction and Building Materials* (accepted).

M. Thiam, M. Fall, M. S. Diarra (2021). Properties of a building material with melted plastic waste as the only binder: Impact of granular material size and curing conditions. *Journal of Building Engineering*. (Submitted).

UN (2006). United Nations - World Population Prospects. The 2006 Revision, United Nations, New York, 2007(<http://esa.un.org/unpp/>)

Véron, J. (2007). La moitié de la population mondiale vit en ville. *Population & Sociétés*, 435,1-4.

World Bank (2019). WHAT A WASTE 2.0, A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Trends in Solid Waste Management. http://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html. Visited July 7, 2019.

BIOCHIMIE ET BIOTECHNOLOGIE

Effacité des traitements de lavage courants pour réduire les niveaux microbiens sur la laitue au Mali

Sanata TRAORÉ*, Fassé SAMAKÉ¹, Eric W. CORNELIUS², Amadou H. BABANA¹, Gloria L. ESSILFIE², Daouda DIABATÉ¹, Mamoutou BENGALY¹, Abou KONÉ¹, Habibatou CISSÉ¹

Laboratoire de Recherche en Microbiologie et Biotechnologie Microbienne, USTTB Bamako, Mali

*Email de correspondance : sanatatraore21@yahoo.fr

RESUMÉ : La laitue est l'un des légumes les plus cultivés (consommés crus) au Mali avec un pourcentage de 69,4 parmi les légumes feuilles et 30,4 de tous les légumes. Les légumes consommés crus, en particulier la laitue, sont des sources d'agents pathogènes d'origine alimentaire. Cette étude a été menée pour évaluer la contamination bactérienne de la laitue non lavée et l'efficacité de sa désinfection avec de l'eau du robinet et des concentrations variables de certains désinfectants chimiques à savoir eau de javel et vinaigre (0,00285 ; 0,00570 et 0,00855 ppm), permanganate de potassium (170 ; 340 et 510 ppm) et sel ordinaire (500 ; 1000 et 1500 ppm) sur la base des trois lavages consécutifs, protocole recommandé pour les légumes au Mali. Des échantillons de laitue ont été sélectionnés au hasard dans des fermes irriguées avec de l'eau de rivière non traitée dans les communautés cinq et six du District de Bamako. Les feuilles de laitue ont été exposées à une faible concentration des désinfectants chimiques à 15 min, intermédiaire à 10 min et élevée à 5 min. Une désinfection combinée eau de javel (0,00285 ppm)/vinaigre (0,00285 ppm) a également été testée à 15 min. L'eau du robinet, l'eau de javel, le permanganate de potassium, le vinaigre et le sel ordinaire ont réduit les populations de coliformes fécaux de 1,3–2,9 ; 1,5–3,0 et 1,9–3,5 log UFC/100 g, à 5, 10 et 15 min, respectivement. Tous les désinfectants ont complètement éliminé *Salmonella* spp. à tous les temps de contact avec le traitement. Tous les désinfectants chimiques, y compris l'eau du robinet à 15 min, réduisent les populations de coliformes fécaux en dessous du niveau indésirable de l'ICMSF (2011) (1000 UFC/100 g de poids frais). Celles-ci pourraient contribuer à réduire le risque sanitaire lié à la consommation de laitue au Mali.

Mots-clés : Laitue, Contamination bactérienne, Temps de contact, Concentration de désinfectants, Eau du robinet.

1. INTRODUCTION

La consommation de salade crue est courante dans les pays francophones d'Afrique de l'Ouest dont le Mali (Bellwood-Howard *et al.*, 2015 ; Coulibaly-Kalpy *et al.*, 2017 ; Karg & Drechsel, 2018 ; Somda *et al.*, 2019 ; Tounkara *et al.*, 2019). La restauration rapide à Bamako et ses zones périurbaines a la laitue comme l'un de ses ingrédients communs (Karg & Drechsel, 2018). La plupart des laitues fraîches utilisées à Bamako sont cultivées le long des réseaux d'évacuation des eaux usées, des cours d'eau, à proximité des puits ouverts et des déchets d'ordures où l'eau d'irrigation non traitée est couramment utilisée (Traoré *et al.*, 2013 ; Dia, 2017 ; Traoré *et al.*, 2018 ; Traoré, 2020). À Bamako, il a été observé que ces sources d'eau d'irrigation présentaient des niveaux élevés de contamination par les coliformes fécaux supérieurs aux normes recommandées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) pour l'irrigation sans restriction (Traoré, 2020). Outre l'eau non traitée, le fumier et les sols contaminés sont également des sources de contamination par les coliformes fécaux (Traoré, 2020) et sont difficiles à contrôler.

Heureusement, les consommateurs de Bamako pratiquent largement le lavage des légumes généralement consommés crus avant consommation (Traoré, 2020). Cependant, laver les légumes avec

de l'eau courante propre n'est pas une pratique courante au Mali car seuls 41% des Maliens ont accès à de l'eau traitée (OMS, 2017a). Ainsi, les légumes sont normalement lavés dans un bassin d'eau stagnante qui a été contaminée lors d'une utilisation antérieure, ce qui pourrait augmenter les niveaux de contamination au lieu de les réduire (Kumwenda, 2019).

Les méthodes de désinfection des légumes à Bamako varient considérablement et sont appliquées de manière inefficace par les consommateurs de légumes en raison de connaissances insuffisantes et d'informations inadéquates (Traoré, 2020). Cependant, des archives ailleurs montrent que l'efficacité de ces méthodes pourrait être améliorée en utilisant les désinfectants appropriés à des concentrations et des temps de contact appropriés (Traoré *et al.*, 2013 ; Van Haute *et al.*, 2017 ; Woldetsadik *et al.*, 2017 ; Subramanya *et al.*, 2018). Les consommateurs de légumes au Mali ne sont cependant pas au courant de ces méthodes appropriées de désinfection. Certains des désinfectants vendus au Mali ont été reconditionnés à partir de leurs contenants d'origine, sans étiquette, tandis que d'autres ont des étiquettes étrangères, sont périmés ou sont contrefaits. En outre, ces désinfectants sont également principalement exposés aux rayons ultraviolets sur le marché libre,

ce qui affecte la qualité et l'efficacité. Le Service de santé du Mali (SSM) a prescrit le protocole suivant pour la désinfection des légumes consommés crus : lavage à l'eau du robinet, suivi d'une immersion dans des solutions d'eau de javel (NaClO) ou de permanganate de potassium (KMnO_4) à 0,00285 ppm et 170 ppm pendant 15 min respectivement, et un rinçage final dans l'eau du robinet (SSM, 2005). La majorité des Maliens ne sont cependant pas au courant de ce protocole, et cette méthode de désinfection a également été signalée comme inefficace pour une désinfection complète de la laitue (Traoré *et al.*, 2013). L'efficacité des désinfectants courants des légumes au Mali (eau de javel, permanganate de potassium, vinaigre (acide acétique CH_3COOH), sel ordinaire (NaCl) et eau du robinet) pour réduire les coliformes fécaux tels que *Escherichia coli* (*E. coli*) et *Salmonella* spp. sur la laitue irriguée de Bamako ont ainsi été évalués dans cette étude.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1 Procédure d'échantillonnage de la laitue

La recherche a été menée dans trois fermes de laitues d'une taille moyenne de 0,25 hectares irrigués avec de l'eau de rivière non traitée, dans chacune des communes cinq et six à Bamako. Quinze têtes de laitue, ont été collectées au hasard par ferme. Les échantillons ont ensuite été placés dans des sacs stériles en polyéthylène et transportés sur glace au laboratoire où ils ont été analysés immédiatement pour la contamination bactérienne avant et après désinfection ou stockés à 4°C et utilisés dans les 24 h après la récolte. Les feuilles de laitue ont été retirées de chaque tête et combinées pour obtenir un échantillon composite pour chaque ferme (Hayes, 1995).

2.2 Préparation de solutions désinfectantes

Cinq désinfectants de légumes couramment utilisés au Mali : Eau de javel (chlorure de sodium) fabriquée par Alvejante (Côte d'Ivoire), permanganate de potassium (Cooper France), vinaigre (Vinaigres Fuchs Sas, France), sel ordinaire (NaCl) et l'eau du robinet ont été utilisés dans cette étude. Trois concentrations des quatre désinfectants chimiques (petite, moyenne et grande concentration) ont été préparées comme suit en utilisant de l'eau distillée stérile : eau de javel à 0,00285 ; 0,00570 et 0,00855 parties par million (ppm) ; permanganate de potassium à 170 ; 340 et 510 ppm ; vinaigre à 0,00285 ; 0,00570 et 0,00855 ppm et sel ordinaire à 500 ; 1000 et 1500 ppm. Les trois concentrations de chlorure de sodium, de permanganate de potassium et de vinaigre ont été choisies sur la base des deux désinfectants de légumes recommandés au Mali (SSM, 2005), tandis que celles du sel ordinaire étaient basées sur des estimations issues des résultats d'une précédente étude de Traoré (2020). Deux litres de chaque désinfection solution contenant de l'eau

du robinet ont été versés dans un récipient en plastique propre (lavé avec du savon de ménage).

2.3 Procédure de désinfection

La méthode de désinfection testée dans cette étude était basée sur trois protocoles de lavage consécutifs recommandés pour les légumes au Mali (SSM, 2005). Cent grammes de chaque feuille de laitue composite de chaque ferme ont été lavés dans deux litres d'eau du robinet pendant une minute, suivis par des immersions immédiates dans les solutions de désinfection respectives à un moment de contact spécifique en fonction de la concentration et enfin rincés dans deux litres d'eau du robinet pendant une minute. Les concentrations élevées, intermédiaires et faibles des solutions de désinfection étaient exposés pendant 5, 10 et 15 min, respectivement. La désinfection à l'eau du robinet a également été testée à 5, 10 et 15 min. La population de coliformes fécaux en unité formant colonie/100 g (UFC/100 g) dans chaque échantillon de laitue ainsi qu'une évaluation qualitative pour *Salmonella* spp. ont été déterminés avant (non lavés) et immédiatement après la désinfection. Toutes les procédures de désinfection ont été effectuées au LaboREM-Biotech, Faculté des Sciences et Techniques, Université des Sciences, Techniques et Technologies de Bamako à environ $25 \pm 3^\circ\text{C}$.

Les populations de coliformes fécaux ont été déterminées par la méthode de NFV 08 060 (2009). Cela consistait à peser 100 g de laitue (broyée) dans 1000 ml de solution saline tamponnée stérile et à agiter vigoureusement pendant deux minutes. Une série de dilution a été réalisée dans des tubes contenant la solution tamponnée et deux copies du bouillon inoculé à partir de chaque dilution sur boîte de Pétri contenant du milieu Eosine bleu de méthylène Blue et incubé à $44,5^\circ\text{C}$ pendant 24–48 h. Le nombre de colonies a été compté dans chaque boîte de Pétri et le nombre de bactéries évalué comme CFU/100 g d'échantillon. Les populations d'*E. coli* ont été déterminées par la méthode de l'ISO 16649-2 (2019) et de *Salmonella* spp. par la méthode de l'ISO 6579-1 (2017). La méthode d'isolement des cultures pures décrite dans le manuel de Bergey de bactériologie systématique (Holt, 1986) pour l'isolement des cultures pures à partir d'un mélange d'espèces a été strictement suivi. Les différentes cultures d'*E. coli* et *Salmonella* spp. des échantillons ont été utilisés dans cette étude. Des cultures positives de Tryptone Bile X-glucuronide (colonies bleues) ont été sélectionnées pour estimer les populations d'*E. Coli* dans des échantillons de laitue. Dans le cas de l'identification de *Salmonella* spp., La suspension mère a été incubée pendant 24 h à 37°C , puis un millilitre de la solution a été placé dans 10 ml du bouillon d'enrichissement stérile Rappaport-Vassiliadis pour *Salmonella* préparé et incubé pendant 24 h. Après la deuxième incubation, 100 μl

de la solution ont été ensemencés sur du milieu gélose Hektoen (HEKT-D) et incubée pendant 24 h supplémentaires. Les colonies positives sur HEKT-D (colonies blanches avec des centres noirs) ont été ensemencées sur du milieu gélose Triple Sugar Iron. A partir de chaque culture positive d'*E. coli* ou de *Salmonella*, les isolats ont été purifiés en sélectionnant une colonie et en laissant des stries sur le milieu sélectif au moins trois fois et en incubant la boîte à 44°C pour *E. coli* et 37°C pour *Salmonella* pendant 24 à 48 h. La pureté des colonies d'*E. coli* et de *Salmonella* spp. a été confirmée après incubation de leurs boîtes respectives par coloration de Gram. Après confirmation de la réaction de Gram, quelques colonies ont été mélangées dans cinq millilitres d'une solution saline tamponnée stérile, et la suspension a été distribuée dans les cuves de la galerie Analytical Profile Index (API 20E) et incubée pendant 24 h pour confirmation biochimique. Les résultats ont été interprétés à l'aide du catalogue et confirmés par le logiciel d'identification. Suite aux résultats obtenus à partir de cette expérience, la désinfection combinée eau de javel (0,00285 ppm)/vinaigre (0,00285 ppm) a également été testée à 15 min en utilisant le même protocole ci-dessus. L'expérience entière a été répétée trois fois avec des échantillons composites de laitue fraîche (de la même zone d'étude à Bamako) pour la deuxième et troisième répétitions. Les populations moyennes de coliformes fécaux sur laitue avant désinfection pour les trois expériences étaient de 4,5 log UFC/100 g et les populations d'*E. coli* correspondantes étaient de 2,8 UFC/100 g. *Salmonella* spp. était présente dans les échantillons de laitue dans toutes les expériences avant la désinfection.

2.4 Traitement et analyse des données

La réduction des populations de coliformes fécaux (UFC/100 g) sur chaque échantillon de laitue après désinfection par rapport à la laitue non lavée a été calculée. Les données sur les populations de coliformes fécaux et d'*E. coli* ont été log-transformées et soumises à une ANOVA. Lorsqu'une différence statistique a été trouvée, les moyennes ont été séparées à l'aide du test HSD de Tukey ($P < 0,05$). Toutes les analyses ont été effectuées avec GenStat 11^{ème} édition.

3. Résultats

3.1 Efficacité des méthodes de désinfection courantes sur le niveau de coliformes fécaux de la laitue irriguée avec de l'eau de rivière non traitée provenant de fermes de Bamako

L'ANOVA bidirectionnelle pour les populations moyennes de coliformes fécaux n'a montré aucune interaction entre le temps de contact et le désinfectant (F (8, 44), $P = 0,988$), cependant, les effets individuels étaient significatifs (temps de

contact, F (2, 44), $P < 0,001$; désinfectant F (4, 44), $P < 0,001$). À tous les temps de contact, la réduction logarithmique moyenne des populations de coliformes fécaux sur la laitue ne variait pas entre l'eau de javel, le permanganate de potassium, le vinaigre et le sel et variait entre 2,4–3,5 log UFC/100 g (Tableau 1). La réduction moyenne des populations de coliformes fécaux dans l'eau du robinet à 15 min (1,9 log UFC/100 g) n'était pas significativement différente de tous les désinfectants à tous les temps de contact. Les populations moyennes de coliformes fécaux de la réduction de l'eau de javel (0,00285 ppm), du sel (500 ppm), du permanganate de potassium (170 ppm) et du vinaigre (0,00285 ppm) à 15 min étaient nettement plus élevées que la désinfection de l'eau du robinet à 5 et 10 min. Les réductions logarithmiques de la population de coliformes fécaux dans l'eau du robinet à 5, 10 et 15 min variaient de 1,3–1,9 log UFC/100 g et ne différaient pas de manière significative ($P < 0,05$). La combinaison eau de javel/vinaigre (0,00143 ppm/0,00143 ppm) appliquée pendant 15 minutes a réduit les populations de coliformes fécaux de 2,8 log UFC/100 g.

3.2 Efficacité des méthodes de désinfection courantes sur les populations d'*E. coli* sur la laitue irriguée avec l'eau de rivière des fermes de Bamako

Une ANOVA bidirectionnelle pour les populations moyennes d'*E. coli* a montré que les principaux effets (temps de contact (F (2, 44), $P < 0,001$); et le désinfectant (F (4, 44), $P = 1,000$) ainsi que leur interaction (temps de contact × désinfectant (F (8, 44)), $P = 1,000$) n'étaient pas significativement différents. Les populations d'*E. coli* après désinfection variaient entre 2,0–2,1 log UFC/100 g (Tableau 2). La combinaison eau de javel/vinaigre a complètement éliminé *E. coli* sur des échantillons de laitue à 15 min.

3.3 Efficacité des méthodes de désinfection courantes sur *Salmonella* spp. sur la laitue irriguée à l'eau de rivière des fermes de Bamako

Il y a eu désinfection complète de *Salmonella* spp. sur des échantillons de laitue avec des désinfectants à tout moment de contact.

Tableau 1 : Populations de coliformes fécaux et réduction du logarithme sur la laitue cultivée avec de l'eau non traitée de la rivière de Bamako et lavée avec des désinfectants végétaux à différents moments de contact

Temps de contact (min)	Désinfectant légumes (ppm)	de Coliformes fécaux moyens (UFC/100 g)	Réduction logarithmique moyenne des coliformes fécaux (UFC/100 g)
	Non lavée	4,5	-
5	Eau de robinet	3,2 ^c	1,3 ^c
	NaClO (0,00855)	2,0 ^{abc}	2,5 ^{abcd}
	KMnO ₄ (510)	1,6 ^{abc}	2,9 ^{ab}
	Vinaigre (0,00855)	2,1 ^{abc}	2,4 ^{abc}
	NaCl (1500)	2,1 ^{abc}	2,4 ^{abc}
10	Eau de robinet	2,9 ^{bc}	1,6 ^{bc}
	NaClO (0,00570)	1,7 ^{abc}	2,8 ^{abc}
	KMnO ₄ (340)	1,5 ^{ab}	3,0 ^{ab}
	Vinaigre (0,00570)	1,8 ^{abc}	2,7 ^{abc}
	NaCl (1000)	1,7 ^{abc}	2,8 ^{abc}
15	Eau de robinet	2,6 ^{abc}	1,9 ^{abc}
	NaClO (0,00285)	1,0 ^a	3,5 ^a
	KMnO ₄ (170)	1,2 ^a	3,3 ^a
	Vinaigre (0,00285)	1,3 ^{ab}	3,2 ^a
	NaCl (500)	1,1 ^a	3,4 ^a
	NaClO (0,00143) /Vinaigre (0,00143)	1,7 ^{abc}	2,8 ^{abc}

Les moyennes dans la colonne suivie de lettres différentes sont significativement différentes (test HSD de Tukey $P < 0,05$).

Tableau 2 : Populations d'*E. coli* et réduction sur la laitue cultivée avec de l'eau non traitée de la rivière à Bamako et lavée avec des désinfectants végétaux à différents moments de contact

Temps de contact (min)	Désinfectants légumes (ppm)	de Moyenne de la population d' <i>E. coli</i> (UFC /100 g)	Réduction moyenne des populations d' <i>E. coli</i> (UFC/100 g)
	Non lavée	2,8	-
5	Eau de robinet	0,8	2,0
	NaClO (0,00855)	0,7	2,1
	KMnO ₄ (510)	0,7	2,1
	Vinaigre (0,00855)	0,7	2,1
	NaCl (1500)	0,7	2,1
10	Eau de robinet	0,7	2,1
	NaClO (0,00570)	0,7	2,1
	KMnO ₄ (340)	0,7	2,1
	Vinaigre (0,00570)	0,8	2,0
	NaCl (1000)	0,8	2,0
15	Eau de robinet	0,7	2,1
	NaClO (0,00285)	0,7	2,1
	KMnO ₄ (170)	0,7	2,1
	Vinaigre (0,00285)	0,7	2,1
	NaCl (500)	0,7	2,1
	NaClO (0,00143) /Vinaigre (0,00143)	0,0	2,8

Les moyennes dans la colonne suivie d'une lettre différente sont significativement différentes (test HSD de Tukey $P < 0,05$)

4. Discussion

Tous les désinfectants testés dans cette étude ont réduit les populations de coliformes fécaux sur la laitue, mais n'ont pas pu les éliminer complètement. Cette découverte est en accord avec celles de plusieurs autres chercheurs où l'utilisation de désinfectants similaires, même à des concentrations plus élevées, ne pouvait pas éliminer complètement les coliformes fécaux sur la laitue et d'autres légumes

(Pan & Nakano, 2014 ; Petri *et al.*, 2015 ; Van Haute *et al.*, 2017 ; Woldetsadik *et al.*, 2017 ; Bencardino *et al.*, 2018 ; Bhilwadikar *et al.*, 2019 ; Pourzamani *et al.*, 2019). Les réductions logarithmiques élevées des populations de coliformes fécaux obtenues avec certains des désinfectants, en particulier l'eau de javel et le permanganate de potassium (2,5–3,5 log UFC/100 g) pourraient être dues aux trois systèmes de lavage consécutifs utilisés dans la présente étude.

La désinfection à l'eau du robinet à 15 minutes était aussi efficace que les autres désinfectants à tous les moments de contact. L'eau propre est bien connue pour éliminer certains microorganismes des légumes (Pan & Nakano, 2014 ; Dao *et al.*, 2018 ; Subramanya *et al.*, 2018 ; Bhilwadikar *et al.*, 2019). Par exemple, Subramanya *et al.* (2018) ont démontré une réduction significative des populations de coliformes fécaux sur les légumes après trois lavages consécutifs dans de l'eau distillée stérile ($1,6 \times 10^7$ – $5,8 \times 10^3$ UFC/ml). Une réduction de près de 100 fois a même été obtenue après le premier lavage. De plus, l'eau du robinet contient du chlore avec des concentrations de 0,2–1,0 mg/l (OMS, 2003) qui pourrait également désinfecter les microorganismes.

Néanmoins, une élimination complète des microorganismes sur les légumes crus est souhaitée. Cela peut donc nécessiter d'augmenter la concentration ou le temps de contact. Cependant, l'augmentation de la concentration ou du temps de contact dans d'autres études a affecté la qualité, la durée de conservation et le contenu chimique des légumes (Botondi *et al.*, 2015 ; Park & Kim, 2015 ; Rodoni *et al.*, 2015 ; Bridges *et al.*, 2018 ; Brodowska *et al.*, 2018 ; Lee *et al.*, 2018 ; Bhilwadikar *et al.*, 2019 ; Gehringer & Kaletunç, 2020). Dans la présente étude, le permanganate de potassium à la concentration la plus faible (concentration recommandée) a provoqué une décoloration violacée sur la partie médiane des feuilles de laitue. Cette décoloration a également été observée sur de jeunes feuilles entières à la concentration la plus élevée. Ces raisons, associées à sa rareté au Mali, pourraient expliquer pourquoi seuls 3–11% des consommateurs de légumes utilisaient ce désinfectant par rapport à l'eau de javel (73–87%) qui est facilement disponible (Traoré, 2020). Au contraire, aucune des concentrations testées d'agent de blanchiment ou de désinfectants restants n'a affecté la qualité physique de la laitue dans l'étude. Traoré *et al.* (2013) en utilisant 2,6 mg/l d'eau de javel pendant 15 min à peu près d'une augmentation de 1000 fois de la concentration la plus faible de cette étude, obtention d'une désinfection complète de la laitue qui n'affectait pas sa qualité et les résidus de chlore sur le produit étaient inférieurs à la valeur maximale acceptable (5 mg/l) dans l'eau potable (OMS, 2017b). Donc, il serait intéressant d'étudier l'efficacité de cette concentration élevée à plus grande échelle par les consommateurs utilisant la désinfection procédure utilisée dans cette étude.

Le vinaigre et le chlorure de sodium ont également eu au moins 2 réductions logarithmiques des populations de coliformes fécaux, ce qui est en accord avec les conclusions d'Amoah *et al.* (2007) et Woldetsadik *et al.* (2017). Entre ces désinfectants mentionnés ci-dessus, le chlorure de sodium (sel) est moins cher, plus sûr et facilement disponible, de sorte que d'autres études devraient envisager de faire varier

la concentration testée la plus élevée et le temps de contact pour déterminer si une désinfection complète peut être obtenue.

La combinaison d'eau de javel et de vinaigre à de faibles concentrations (0,00143 ppm/0,00143 ppm) appliquée pendant 15 minutes a réduit les populations de coliformes fécaux et éliminé complètement *E. coli* et *Salmonella* spp. sur la laitue. Ces résultats suggèrent qu'il est possible d'avoir une désinfection complète avec une concentration légèrement plus élevée de ce mélange désinfectant. Cependant, plusieurs auteurs (Chauhan *et al.*, 2008 ; O'Malley *et al.*, 2019 ; Morim & Guldner, 2020) ont mis en évidence les dangers de la combinaison de l'eau de javel et du vinaigre comme désinfectant, même comme nettoyant de surface. La combinaison de l'eau de javel et du vinaigre produit du chlore gazeux, un asphyxiant qui, lors de l'inhalation à de faibles concentrations (1–3 ppm), provoque des difficultés respiratoires, une irritation de la muqueuse buccale et les yeux, tandis que des expositions à des concentrations plus élevées (≥ 430 ppm) peuvent entraîner la mort en moins de 30 minutes (Chauhan *et al.*, 2008 ; Morim & Guldner, 2020).

On peut déduire de cette étude que la désinfection de la laitue avant consommation pourrait être un point crucial pour la réduction des risques sanitaires au Mali. La suggestion de Murray *et al.* (2017) pour intervention multiple l'approche de la production de légumes avant la consommation pourrait être la plus efficace pour prévenir la contamination des légumes par rapport aux seuls désinfectants. Au Mali, les principales sources de contamination microbienne des légumes proviennent des exploitations agricoles, l'eau d'irrigation, le sol et le fumier contribuant le plus (Samaké *et al.*, 2011 ; Traoré *et al.*, 2013 ; Dia, 2017 ; Traoré, 2020). Contrôler ces sources de la contamination est difficile à court et moyen terme pour les autorités municipales et les producteurs de légumes en raison du coût élevé. Le traitement de l'eau d'irrigation avec des désinfectants (en particulier de l'eau de javel) en plus de la désinfection de la laitue avant sa consommation pourrait être essentiel pour réduire les risques potentiels associés à sa consommation et devrait donc être priorisé.

5. Conclusions

Tous les désinfectants chimiques, y compris l'eau du robinet à 15 min, ont réduit les populations de coliformes fécaux en dessous du niveau indésirable de l'ICMSF (2011) (1000 UFC/100 g de poids frais). Les concentrations faibles, intermédiaires et élevées de tous les désinfectants chimiques (eau de javel, permanganate de potassium, vinaigre, sel ordinaire et eau de javel/vinaigre) appliquées respectivement pendant 5, 10 et 15 min, ont réduit les populations de coliformes fécaux sur la laitue de 2,4–2,9 ; 2,7–3,0 et 2,8–3,5 log UFC/100 g. Les réductions des populations de coliformes fécaux sur la laitue avec de

l'eau du robinet étaient de 1,3 ; 1,6 et 1,9 log UFC/100 g à 5, 10 à 15 min respectivement. Les réductions des populations de coliformes fécaux sur la laitue avec de l'eau du robinet à 15 min étaient similaires à celles des désinfectants chimiques. Tous les désinfectants chimiques et l'eau du robinet ont réduit les populations d'*E. coli* sur la laitue et éliminé complètement *Salmonella* spp. Indépendamment de la concentration et du temps de contact. L'association eau de javel/vinaigre à 15 min a réduit les populations de coliformes fécaux sur la laitue de 2,8 log UFC/100 g et a complètement éliminé *E. coli* et *Salmonella* spp.

Recommendations

SSM devrait étudier l'efficacité de ses deux désinfectants végétaux recommandés, en particulier l'eau de javel à une concentration plus élevée et à plus grande échelle sur les personnes, surtout les enfants. Ils devraient aussi vérifier si un lavage successif et rinçage entre les lavages avec de l'eau dans une solution de permanganate, d'eau de Javel, de sel peut éliminer complètement les niveaux microbiens de la laitue dès la cueillette en faisant un premier lavage et rinçage. Les méthodes de désinfection testées dans cette étude devraient être évaluées par les vendeurs d'aliments et les restaurateurs afin de déterminer son efficacité sur la laitue et autres légumes crus consommés à grande échelle. Une analyse sensorielle suivant les méthodes de désinfection doit également être effectuée.

Remerciements

Les auteurs remercient Borlaug Higher Education for Agricultural Research and Development (BHEARD) pour leur bourse et les fonds supplémentaires de la Fondation Internationale pour la Science (IFS) et du le Comité permanent de la Coopération Scientifique et Technologique de l'Organisation de la coopération islamique (COMSTECH) pour cette étude.

Références

- Amoah, P., Drechsel, P., Abaidoo, R. C., & Klutse, A. (2007). Effectiveness of common and improved sanitary washing methods in selected cities of West Africa for the reduction of coliform bacteria and helminth eggs on vegetables. *Tropical Medicine and International Health*, 12(2), 40–50. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3156.2007.01940.x>
- Amoah, P., Pay Drechsel, P., Abaidoo, R. C., & Abraham, E. M. (2009, November 10–12). Improving food hygiene in Africa where vegetables are irrigated with polluted water. West Africa regional sanitation and hygiene symposium, Accra, Ghana.
- Bellwood-Howard, I., Häring, V., Karg, H., Roessler, R., Schlesinger, J., & Shakya, M. (2015). Characteristics of urban and periurban agriculture in West Africa: Results of an exploratory survey conducted in Tamale (Ghana) and Ouagadougou (Burkina Faso) (Working Paper 163). International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- Bencardino, D., Vitali, L. A., & Petrelli, D. (2018). Microbiological evaluation of ready-to-eat iceberg lettuce during shelflife and effectiveness of household washing methods. *Italian Journal of Food Safety*, 7(1), 6913–6917. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2018.6913>
- Bhilwadikar, T., Pounraj, S., Manivannan, S., Rastogi, N. K., & Negi, P. S. (2019). Decontamination of microorganisms and pesticides from fresh fruits and vegetables: A comprehensive review from common household processes to modern techniques. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 1003–1038. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12453>
- Botondi, R., De Sanctis, F., Moscatelli, N., Vettrano, A. M., Catelli, C., & Mencarelli, F. (2015). Ozone fumigation for safety and quality of wine grapes in postharvest dehydration. *Food Chemistry*, 188, 641–647. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.029>
- Bridges, D. F., Rane, B., & Wu, V. C. (2018). The effectiveness of closed-circulation gaseous chlorine dioxide or ozone treatment against bacterial pathogens on produce. *Food Control*, 91, 261–267. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.04.004>
- Brodowska, A. J., Nowak, A., & Smigielski, K. (2018). Ozone in the food industry: Principles of ozone treatment, mechanisms of action, and applications: an overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(13), 2176–201. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1308313>
- Chauhan, S., Chauhan, S., D'Cruz, R., Faruqi, S., Singh K. K., Varma, S., Singh, M., & Karthik, V. (2008). Chemical warfare agents. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 26(2), 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2008.03.003>
- Coulibaly-Kalpy, J., Agbo, E. A., Dadie, T., A., & Dosso, M. (2017). Microbiological quality of raw vegetables and ready to eat products sold in Abidjan (Côte d'Ivoire) markets. *African Journal of Microbiology Research*, 11(5), 204–210. <https://doi.org/10.5897/AJMR2016.8427>
- Dao, J., Stenchly, K., Traoré, O., Amoah, P., & Buerkert, A. (2018). Effects of water quality and post-harvest handling on microbiological contamination of lettuce at urban and peri-urban locations of Ouagadougou, Burkina Faso. *Foods*, 7(12), 206–218. <https://doi.org/10.3390/foods7120206>

- Dia, S. (2017). Contrôle de la qualité bactériologique et toxicologique de la laitue vendue en commune I du District de Bamako, Mali [Unpublished Master's thesis]. Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako.
- Gehring, R. A., & Kaletunç, G. (2020). Chlorinated water sanitation of leafy green vegetables for fresh produce processors. *Ohioline*. <https://ohioline.osu.edu/factsheet/aex-262>
- Hayes, P. R. (1995). *Food microbiology and hygiene*. Springer, Berlin, Germany.
- Holt, J. G. (1986). *Bergey's manual of systematic bacteriology*. The Williams and Wilkins Company.
- ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods), (2011). *Microorganisms in foods 8: use of data for assessing process control and product acceptance*. Springer.
- International Organization for Standardization (ISO 16649-2) (2019). *Microbiology of food and animal feeding stuffs—horizontal method for the enumeration of beta-glucuronidase-positive Escherichia coli—Part 2: Colony-count technique at 44°C using 5-bromo-4-Chloro-3-indolyl beta-D-glucuronide*. International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization (ISO 6579-1) (2017). *Microbiology of the food chain: Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of Salmonella — Part 1: Detection of Salmonella spp.* International Organization for Standardization.
- Lee, H., Beuchat, L. R., Ryu, J. H., & Kim, H. (2018). Inactivation of Salmonella typhimurium on red chili peppers by treatment with gaseous chlorine dioxide followed by drying. *Food Microbiology*, 76, 78–82. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.04.016>
- Karg, H., & Drechsel, P. (2018). *Atlas of West African urban food systems: Examples from Ghana and Burkina Faso*. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- Kumwenda, S. (2019). *Challenges to hygiene improvement in developing countries. In the relevance of hygiene to health in developing countries*. Eds. N. Potgieter and A. N. Traore. Pp. 5–23. IntechOpen, Venda, South Africa.
- SSM (Service de Santé du Mali), (2005). *Disinfection of vegetables*. Hygienic branch, Bamako, Mali.
- Morim, A., & Guldner, G. T. (2020). *Chlorine gas toxicity*. Treasure Island (FL): StatPearls, Florida, United States of America.
- Murray, K., Wu, F., Shi, J., Xue, S. J., & Warriner, K. (2017). Challenges in the microbiological food safety of fresh produce: Limitations of post-harvest washing and the need for alternative interventions. *Food Quality and Safety*, 1(4), 289–301. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyx027>
- Norme Française (NFV 08 060) (2009). *Microbiology of food and animal feeding stuffs: Enumeration of thermotolerant coliforms by colony count technique at 44°C*. Association Française de Normalisation, Pp. 1-10.
- O'Malley, G. F., Bassett, R., & Boroughf, W. J. (2019). *Chlorine toxicity*. Medscape. <https://emedicine.medscape.com/article/-overview>
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé), (2003). *Chlorine in drinking-water background document for development of WHO Guidelines for drinking-water quality*. https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chlorine.pdf
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé), (2017a). *Progress on drinking water, sanitation and hygiene. Update and SDG Baselines (Progress report)*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/258617/9789241512893-eng.pdf?sequence=1>
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé), (2017b). *Principles and practices of drinking-water chlorination: A guide to strengthening chlorination practices in small- to medium-sized water supplies*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/255145/9789290225362-eng.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Pan, X., & Nakano, H. (2014). Effects of chlorine-based antimicrobial treatments on the microbiological qualities of selected leafy vegetables and wash water. *Food Science and Technology Research*, 20(4), 765–774. <https://doi.org/10.3136/fstr.20.765>
- Park, M. H., & Kim, J. G. (2015). Lowdose UV-C irradiation reduces the microbial population and preserves antioxidant levels in peeled garlic (*Allium sativum* L.) during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 100, 109–12. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.09.013>
- Petri, E., Rodríguez, M., & García, S. (2015). Evaluation of combined disinfection methods for reducing *Escherichia coli* O157:H7 populations on fresh-cut vegetables. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(8), 8678–8690. <https://doi.org/10.3390/ijerph120808678>
- Pourzamani, H., Kadkhodaei, N., Fadaei, S., Taheri, E., Bagheri, R., Manesh, R. M., Yusefi, H.,

Hatamzadeh, M., Majidi, S., & Nahidan, M. (2019). Alternative disinfection methods use to control of microbial quality and shelf-life of raw eaten vegetables (case study). *International Journal of Health Studies*, 4(3), 33–38.

<https://doi.org/10.22100/ijhs.v4i3.598>

Rodoni, L. M., Zaro, M. J., Hasperué, J. H., Concellon, A., & Vicente, A. R. (2015). UV-C treatments extend the shelf life of fresh-cut peppers by delaying pectin solubilization and inducing local accumulation of phenolics. *LWT- Food Science and Technology*, 63(1), 408–14. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.042>

Samaké, F., Babana, A. H., Yaro, F., Cissé, D., Traoré, I., Kanté, F., Koné, S., Diallo, S., Touré, O., Sako, M., & Iknane, A. G. (2011). Risques sanitaires liés à la consommation des produits cultivés dans la zone urbaine et périurbaine de Bamako. *Mali Santé Publique*, 1(001): 27–31.

Somda, M., Samake, S., Kabore, D., Nikiema, M., Mogmenga, I., Dabire, Y., Ouattara, A., Keita, I., Mihin, H., Akakpo, A., & Traore, A. (2019). Assessment of heavy metals and microbial pollution of lettuce (*Lactuca sativa*) cultivated in two sites (Paspanga and Tanghin) of Ouagadougou, Burkina Faso. *Journal of Environmental Protection*, 10: 454–471. <https://doi.org/10.4236/jep.2019.103026>

Subramanya, S. H., Pai, V., Bairy, I., Nayak, N., Gokhale, S., & Sathian, B. (2018). Potassium permanganate cleansing is an effective sanitary method for the reduction of bacterial bioload on raw *Coriandrum sativum*. *BioMed Central Research Notes*, 11(1): 124. <https://doi.org/10.1186/s13104-018-3233-9>

Toukara, M., Diarra, S., Maiga, O., Sangare, H., Diawara, S. I., Diawara, F., Sangho, H., Iknane, A. A., & Doumbia, S. (2019). Food Security in Mali. Desk Review. The United States Agency for

International Development (USAID), Research Technical Assistance Center: Washington, DC. [https://www.rtachsn.org/wp-content/](https://www.rtachsn.org/wp-content/uploads/2019/12/Food-Security-Desk-Review_ENGLISH_Final_508-1.pdf)

https://www.rtachsn.org/wp-content/uploads/2019/12/Food-Security-Desk-Review_ENGLISH_Final_508-1.pdf

Traoré, S. (2020). Microbial and chemical contamination of irrigated lettuce (*Lactuca sativa* L.) in some urban and peri-urban areas in Mali. [Unpublished doctoral dissertation]. University of Ghana.

Traoré, S., Samaké, F., & Babana, A. H. (2018, July 22–27). Evaluation de la charge microbiologique et physicochimique des légumes issus des sites de grande production maraichère du Mali [Paper presentation].

Malian Symposium for Applied Science, Bamako, Mali.

Traoré, S., Samaké, F., Babana, A. H., Traoré, D., Sanogo, Y., & Maiga, K. (2013). Evaluation of the effectiveness of bleach on microbial populations of lettuce. *Scientific Journal of Microbiology*, 2(9), 166–173. <https://doi.org/10.14196/sjm.v2i9.950>

Van Haute, S., Tryland, I., Escudero, C., Vanneste, M., I., & Sampers, I. (2017). Chlorine dioxide as water disinfectant during fresh-cut iceberg lettuce washing: Disinfectant demand, disinfection efficiency, and chlorite formation. *LWT-Food Science and Technology*, 75, 301–304. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.09.002>

Woldetsadik, D., Drechsel, P., Keraita, B., Itanna, F., Erko, B., & Gebrekidan, H. (2017). Microbiological quality of lettuce (*Lactuca sativa*) irrigated with wastewater in Addis Ababa, Ethiopia and effect of green salads washing methods. *International Journal of Food Contamination*, 4(3). <https://doi.org/10.1186/s40550-017-0048-8>

Sexe ratio et relation taille poids chez le cichlide *tilapia zillii* (gervais, 1853) pêché dans le lac de Sélingué au Mali

Youssouf Sanogo¹, Adama Konaté¹, Namourou Dembélé¹, Kadiatou Traoré¹, Ramata Diop¹, Fassé Samaké² et Diakaridia Traoré¹

¹Faculté des Sciences et Techniques, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Bamako, Mali

²Institut des Sciences Appliquées, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Bamako, Mali

Email auteur correspondant : yfsanogo@yahoo.fr

RESUME : Dans le cadre de l'étude de la biologie de reproduction de *Tilapia zillii* pêché dans le lac de Sélingué, des investigations ont porté sur le sexe ratio et la relation taille poids. Au total, 633 poissons ont été prélevés par mois durant la période allant de juin 2019 à mai 2020. Les sexes des poissons ont été identifiés pour établir le sexe ratio et le taux de féminité puis les spécimens ont fait l'objet de mensurations et de pesées pour établir la relation taille poids. Les résultats ont montré que le sexe ratio global était de 2,52 en faveur des mâles. Cependant, il a varié significativement d'un mois à l'autre, de 0,82 à 17,00. Le taux de féminité était variable aussi d'un mois à l'autre, entre 5,6% et 54,9% avec un taux global de féminité de 28,4%. Les valeurs de la pente b issue de la relation taille poids étaient de 2,99 pour les femelles, 3,03 pour les mâles et 3,02 pour l'ensemble des échantillons. La croissance était isométrique car ces valeurs n'ont pas présenté de différence significative avec la valeur théorique 3. Cependant, il existait une bonne corrélation entre la taille et le poids car le coefficient de régression issu de la droite logarithmique était proche de 1 soit 0,98. L'allométrie était variable d'un mois à l'autre avec une différence significative avec la valeur 3. L'allométrie était négative entre novembre et mars correspondant à une grande partie de la saison sèche, elle était positive pendant la saison des pluies. Ces résultats montrent que *Tilapia zillii* pourrait être un candidat dans le cadre des programmes d'empeuplement communautaire.

Mots clés : *Tilapia zillii*, sexe ratio, croissance, lac de Sélingué, Mali.

I. INTRODUCTION

Tilapia zillii appartient à la famille des Cichlidés (poissons téléostéens). Il est largement reparté dans les cours d'eau de l'Afrique de l'Ouest [1] et vit dans les eaux aux caractéristiques variables avec une zone de répartition limitée au nord par l'Atlas saharien, au sud par les bassins du Niger et du lac Tchad, à l'est par le bassin du Nil.

Au Mali, il est largement rencontré dans les bassins des fleuves Sénégal et du Niger [2]. Dans le haut bassin du Niger, *Tilapia zillii* est présent et on le rencontre dans les captures de la pêche artisanale. Au lac de Sélingué, l'espèce occupe une place importante parmi les 20 principales espèces pêchées [3]. Déjà en 2007, *Tilapia zillii* occupait la 4^{ème} place des poissons débarqués au lac de Sélingué avec 219 tonnes soit 6,80% [4].

Le sexe ratio et la relation taille poids sont importants chez les poissons dans le processus de la reproduction. Le sexe ratio est un indice biologique important, car la proportion de mâles et de femelles peut affecter le succès reproductif [5].

Quant à la croissance, elle est l'un des processus les plus complexes de l'organisme car sur le plan métabolique, une partie de l'énergie consommée va être utilisée pour accroître la masse pondérale, mais cette part d'énergie mobilisée pour fabriquer de la

matière vivante dépend de l'âge des individus, de leur état physiologique, des conditions de leur environnement, etc. [6]. Elle peut être estimée par les changements en taille ou en biomasse dans un intervalle de temps déterminé et correspond à la part d'énergie assimilée par l'organisme qui n'est pas utilisée pour la maintenance du métabolisme. Elle peut être aussi étudiée par la relation taille-poids [7]. Dans ce cas, la forme du poisson peut changer avec la croissance dite allométrique.

De nombreux auteurs ont étudié le sexe ratio [8], [9], [10], [11], [12] et la relation taille poids [12], [13], [14] chez *Tilapia zillii* dans d'autres localités en Afrique. Au regard de la place de *Tilapia zillii* dans la pêcherie lacustre de Sélingué, le sexe ratio et la relation taille poids sont étudiés dans le cadre d'une étude sur la biologie de la reproduction de l'espèce en vue de la préservation de l'espèce. A notre connaissance, la présente étude est la première chez cette espèce dans les eaux du lac de Sélingué.

II. MATERIEL ET METHODES

Le lac de Sélingué est un lac de barrage artificiel hydroélectrique. Il est sur la rivière Sankarani, principal affluent du fleuve Niger au Mali. Il s'étend sur 80 km de long et 3 à 8 km de large pour 409 km² de surface et 5 m de profondeur moyenne avec un statut trophique oligo-mésotrophe. Le régime soudano-guinéen au sud avec des précipitations

annuelles moyennes de 1400 mm de pluies et le régime soudanien sud au nord avec 1200 mm de pluies. La saison humide commence en mai et se termine en octobre, caractérisée par la mousson chaude et pluvieuse. Quant à la saison sèche, elle va de novembre à avril avec un harmattan chaud et sec. La température moyenne annuelle varie entre 23,7°C en janvier-février et 28,6°C en mars-avril. Les vents sont réguliers et leur vitesse modérée de 2 à 4 m/s mais pouvant atteindre 15 à 20 m/s sur de courtes périodes.

Le débarcadère de Carrière où les poissons ont été échantillonnés est situé aux abords du lac de Sélingué, à 3 km du barrage sur la rive droite. Il recevait les captures de la pêche tous les jours en toute saison. Le filet épervier, le filet maillant et la nasse étaient les engins de pêche les plus utilisés.

Des spécimens de *Tilapia zillii* ont été prélevés, de juin 2019 à mai 2020, mesurés et pesés respectivement à l'aide d'un pied à coulisse gradué en mm avec 0,01mm de précision et d'une balance de 2000g portée et 0,01g de précision. *Tilapia zillii* a été identifié sur le terrain à l'aide d'une clé de détermination [1]. Chaque mois de juin 2019 à mai 2020, des échantillons avaient été prélevés.

Les mensurations ont porté sur la longueur standard et les opérations de pesée sur le poids total. Ces opérations ont été faites sur le terrain. Concernant la détermination des sexes, l'échelle de maturité sexuelle des gonades de De Kimpé [15] a été utilisée.

Tableau 1. Echelle de maturation des gonades De Kimpé [15].

Stades	Femelles	Mâles
1/4 (I)	Ovaires non différenciés, coloration rougeâtre	Testicules à peine apparents
2/4 (II)	Ovaires différenciés, ovules très mobiles	Testicules déjà développés mais pas de sperme visible après incision
3/4 (III)	Ovaires différenciés, ovules gros et mobiles non expulsés à la pression manuelle	Sperme dans les testicules mais non expulsé à la pression manuelle
4/4 (IV)	Ovules expulsés à la pression manuelle	Sperme expulsé à la pression manuelle
5/4 (V)	Ovaires vides	Testicules vides

Détermination du sexe ratio

Le sexe ratio se définit comme le rapport du nombre de mâles sur le nombre de femelles. Il permet de suivre le comportement des individus de chaque sexe durant leur cycle vital en fonction des saisons et peut conditionner la fécondité d'un stock reproducteur. Son évolution en fonction de la taille peut s'avérer intéressante pour l'étude de la croissance.

$$\text{Sex - ratio} = \frac{\text{Nombre de mâles}}{\text{Nombre de femelles}}$$

Le taux de féminité sera calculé suivant la formule suivante :

$$\begin{aligned} \text{Taux de féminité} \\ = \frac{\text{Nombre de femelles}}{\text{Nombre de mâles} + \text{Nombre de femelles}} \\ \times 100 \end{aligned}$$

Détermination de la relation taille-poids

La relation entre la longueur totale des poissons et leur poids est en général de type exponentiel. Elle est déterminée par la relation de Teissier [7].

$$Pt = aLt^b$$

Pt = poids total du poisson en g ; Ls = longueur standard du poisson en mm ; a et b sont des facteurs caractéristiques du milieu et de l'espèce. Par transformation logarithmique, on obtient une relation de type linéaire :

$$\log Pt = \log a + b \log Lt$$

Cette transformation permet de réduire la variabilité et d'homogénéiser les deux variables (Pt et Lt).

A partir de cette relation logarithmique, le coefficient b (pente de la droite de régression) varie entre 2 et 4, mais il est souvent proche de 3. Il exprime la forme relative du corps d'un poisson par rapport à la taille dans un environnement donné. Lorsqu'il est égal à 3, la croissance est dite isométrique. Lorsqu'il est différent de 3, la croissance est allométrique. Un coefficient b supérieur à 3 indique une meilleure croissance en poids qu'en longueur ou croissance allométrique majorante. Lorsque b est inférieur à 3, la croissance est meilleur en longueur qu'en poids ou croissance allométrique minorante [16]. Les tests Chi2 et t de Student ont été utilisés pour les analyses statistiques.

III. RESULTATS

3.1. Le sexe ratio

Sur un total de 633 spécimens de *Tilapia zillii* prélevés, de juin 2019 à mai 2020, le sexe ratio global était en faveur des mâles soit 453 mâles pour 180 femelles pour un ratio de 2,52. Le sexe ratio a varié d'un mois à l'autre mais reste toujours en faveur des mâles sauf au mois de février au cours duquel il était en faveur des femelles soit 23 mâles pour 28 femelles pour un ratio de 0,82 (tableau 2). Ces variations constatées ont présenté

statistiquement une différence significative au test - t de Student au seuil de 95% ($t = 3,0104$; $p\text{-value} = 0,01186$). Aussi, il existait une différence statistiquement différente entre les moyennes mensuelles du sexe ratio et la valeur théorique (1:1) soit un mâle pour une femelle au test t de Student au seuil de 95% ($t = 2,212$; $p\text{-value} = 0,0377$ et $\text{Chi}^2=42,396$; $p < 0,0001$).

Tableau 2. Le sexe ratio global pendant la période de juin 2019 à mai 2020

Mois	Nombre de mâles	Nombre de femelles	Sexe ratio
Juin	33	16	2,06
Juillet	36	22	1,64
Août	45	10	4,50
Septembre	42	15	2,80
Octobre	51	3	17,00
Novembre	35	18	1,94
Décembre	36	15	2,40
Janvier	37	16	2,31
Février	23	28	0,82
Mars	42	8	5,25
Avril	37	13	2,25
Mai	36	16	2,25
Total	453	180	2,52

Valeur de Chi² à 95% =42,396 ; $p < 0,0001$

Valeurs du t-test de Student à 95% : $t = 2,212$; $p\text{-value} = 0,0377$

La courbe d'évolution mensuelle du sexe ratio a montré un pic important en octobre correspondant au mois où le grand nombre de mâle a été obtenu dans les captures soit 42 mâles pour 3 femelles pour

un ratio de 17,0 (Figure 2). Deux autres pics ont été enregistrés en août (45 mâles pour 10 femelles pour un ratio de 4,5) et en mars (42 mâles contre 8 femelles pour un ratio de 5,25).

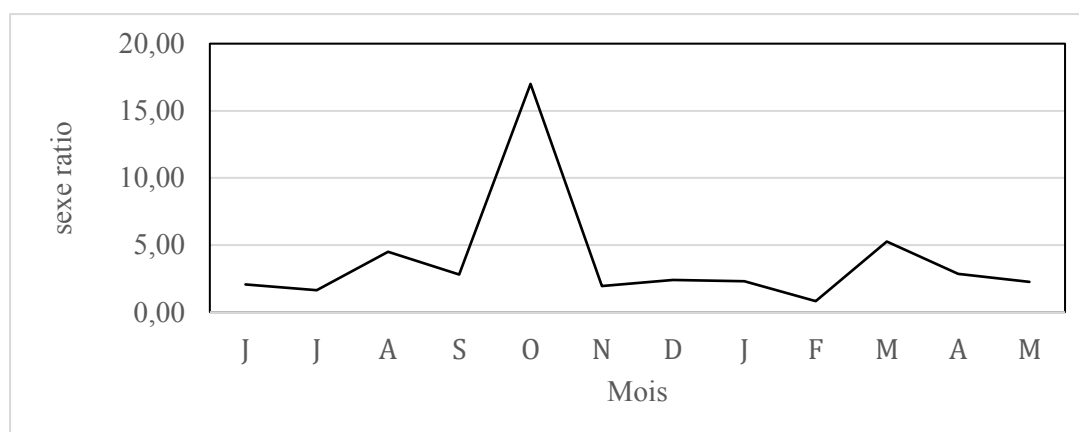


Figure 2. Courbe de l'évolution mensuelle du sexe ratio

Le taux global de féminité était de 28,4%. Le taux de féminité le plus élevé était de 54,9% atteint au mois de février et le plus bas 5,6% au mois d'octobre (tableau 3). Les moyennes mensuelles des taux de

féminité ont présenté une différence statistiquement significative au test de Student à 95% ($t = 8,06$; $p\text{-value} = 0,0000$).

«Tableau 3. Répartition du taux de féminité des spécimens de *T. zillii* pendant la période de l'étude de juin 2019 à mai 2020

Mois	Nombre de femelles	Nombre de mâles	Nombres femelles + mâles	Taux de féminité (%)
Juin	16	33	49	32,7
Juillet	22	36	58	37,9
Août	10	45	55	18,2
Septembre	15	42	57	26,3
Octobre	3	51	54	5,6
Novembre	18	35	53	34,0
Décembre	15	36	51	29,4
Janvier	16	37	53	30,2
Février	28	23	51	54,9
Mars	8	42	50	16,0
Avril	13	37	50	26,0
Mai	16	36	52	30,8
Total	180	453	633	Taux global = 28,4

Valeurs du test-t de Student à 95% : t = 8,06 ; p-value = 0,0000

3.2. La relation taille poids

La pente b traduisant la croissance était de 3,02 pour les poissons échantillonnés. Cependant, elle était variable selon le sexe soit 3,03 pour les mâles contre 2,99 pour les femelles. Ces valeurs ne sont pas statistiquement différentes de la valeur théorique 3

au seuil de 95% au test T de Student ($t = 1,1094$; $p\text{-value} = 0,3295$). La croissance était alors isométrique (tableau 4). Il existait une corrélation entre la taille et le poids car le coefficient de régression issu de la droite logarithmique était proche de 1 soit 0,98.

Tableau 4. Les paramètres de la relation taille-poids des échantillons de juin 2019 à mai 2020

Sexe	N	a	b	R
Mâle	352	0,0117	3,03	0,98
Femelle	134	0,0126	2,99	0,98
Mâle + Femelle	486	0,012	3,02	0,98

Test-t de Student ($t = 1,1094$; $p\text{-value} = 0,3295$)

N = nombre ; a = constante ; b = pente traduisant l'allométrie ; R = coefficient de régression

Les diagrammes logarithmiques des relations taille-poids sont représentés sur les figures 3 à 5.

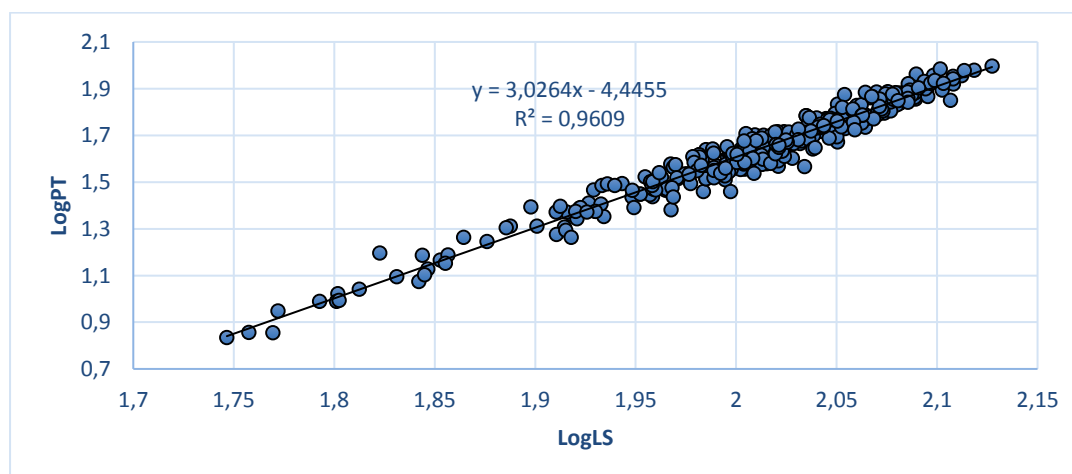


Figure 3. Diagramme logarithmique de la relation taille poids chez les spécimens mâles.

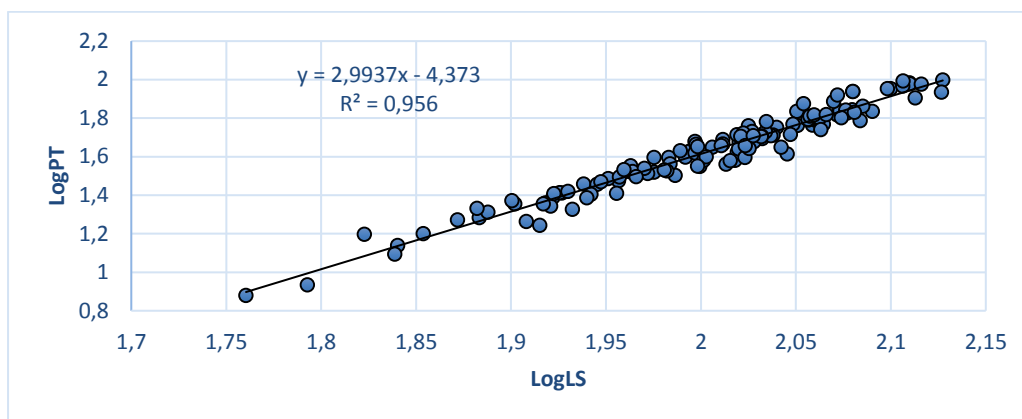


Figure 4. Diagramme logarithmique de la relation taille poids chez les spécimens femelles.

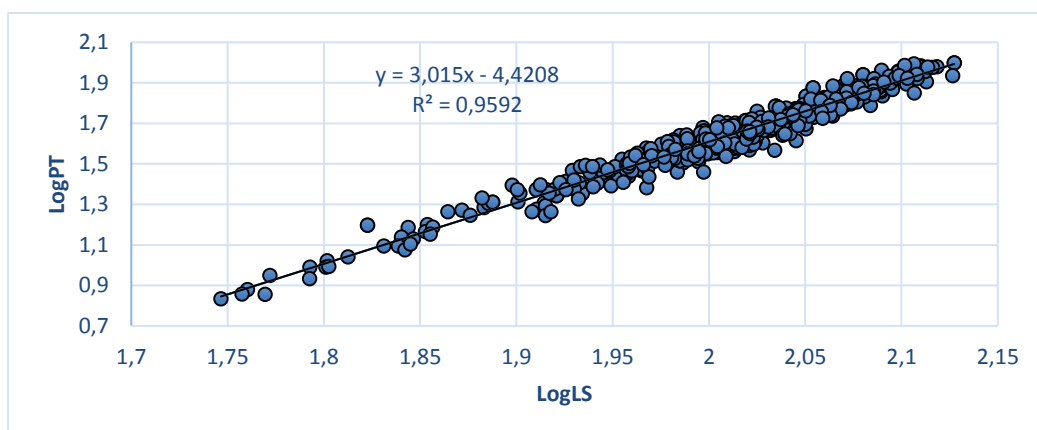


Figure 5. Diagramme logarithmique de la relation taille poids chez les spécimens mâles et femelles collectés.

Les variations mensuelles de la relation taille poids sont représentées sur la figure 6. La courbe de la variation mensuelle de l'allométrie était variable d'un mois à l'autre. Cependant, elle était sous la courbe de la valeur théorique 3 (isométrie) en juillet et septembre puis de novembre à février. Elle est restée au-dessus de la courbe de la valeur théorique ou légèrement les autres mois.

L'analyse des variations mensuelles au test T de Student a relevé une différence statistiquement significative au seuil de 95% ($t=36,0469$; $p\text{-value}=0,0000$). La croissance est allométrique

minorante en septembre puis de novembre à février et reste allométrique majorante au cours des autres mois. La croissance est meilleure en taille qu'en poids en septembre puis de novembre à février mais elle est meilleure en poids qu'en taille pendant les autres mois.

Par contre, les valeurs obtenues ne présentent pas de différence significative avec la valeur théorique 3 ($t=0,1306$; $p\text{-value}=0,8972$).

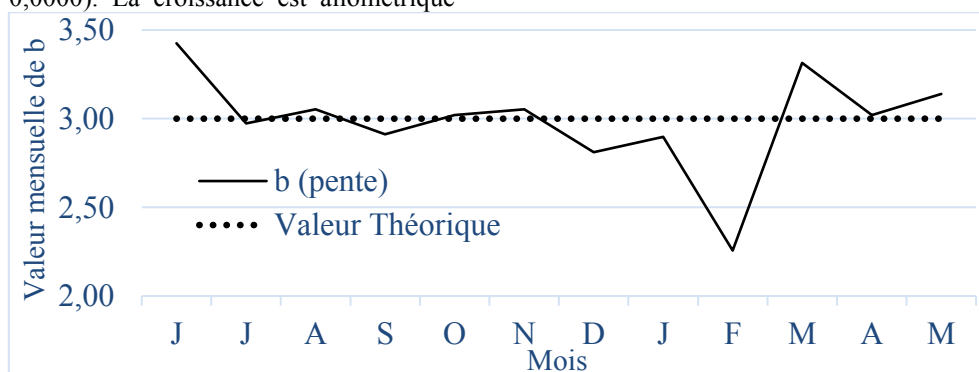


Figure 6. Courbe de la variation mensuelle de l'allométrie chez les poissons récoltés de juin 2019 à mai 2020.

IV. DISCUSSION

L'étude a révélé que, dans les captures de la pêche artisanale explorées, le sexe ratio global chez *Tilapia*

zillii était en faveur des mâles. Le taux global de féminité était très faible. Contrairement à notre étude, certains auteurs ont trouvé une distribution des sexes de *Tilapia zillii* en faveur des femelles dans le lac Naivasha au Kenya [8] et dans la zone humide saharienne de l'Oued Righ au Sud-Est algérien [12].

Dans de nombreux cas, il existe un équilibre entre le mâle et la femelle dans la population de poissons [10]. Cependant, les facteurs pouvant amené un déséquilibre du sexe ratio chez une population sont une dispersion à la fin de la période d'investissement parental différente selon les sexes, des schémas de migration différents, des différences de distribution spatiale, une mortalité sélective et une structure sociale avec harem [17]. Les paramètres physico-chimiques du milieu peuvent influés sur la reproduction des poissons. C'est un phénomène naturel relativement fréquent chez de nombreuses espèces de poissons téléostéens [11]. Le déséquilibre constaté au cours de notre étude en faveur des mâles pourrait être expliqué aussi par le niveau d'investissement parental pendant la période de reproduction et la vulnérabilité des mâles aux engins de pêche. Dans notre étude, il existe une différence statistiquement significative entre les variations mensuelles des moyennes du sexe ratio et entre ces moyennes et la valeur théorique 1 :1. Cet équilibre a été signalé chez l'espèce dans la baie d'Abu Qir en Egypte [9].

Les valeurs de la pente b obtenues dans notre étude, pour l'ensemble des échantillons et des deux sexes, montre une croissance isométrique. Par contre, il existe une variation temporelle de la croissance qui était allométrique positive en saison des pluies ou négative, en partie, en saison sèche (différence statistique avec la valeur théorique 3). Ces variations sont dues aux fluctuations saisonnières des paramètres environnementaux, aux conditions physiologiques du poisson au moment de la collecte, au sexe, au développement des gonades et aux conditions nutritives dans l'environnement des poissons [13]. Les valeurs de b obtenues chez *Tilapia zillii* dans les lacs en Egypte étaient de 2,975 chez le mâle 3,0055 et chez la femelle au lac de Timsah, 2,9 dans la population du lac de Quaurun et 2,69 au lac Edko [14]. En Côte d'Ivoire, dans la lagune Ebrié, des hydrides *Tilapia zillii* et *Tilapia guineensis* ont présenté une croissance isométrique, b non différent de la valeur théorique 3 [13].

Cependant, les valeurs de b de notre étude étaient dans les limites déclarées (entre 2 et 4) pour la plupart des poissons [18].

V. CONCLUSION

L'étude a montré plus de mâles que de femelles dans les captures avec un taux de féminité de 28,4%. L'allométrie, variable d'un mois à l'autre, restait négative pendant une longue période de la saison

sèche mais positive pendant la saison des pluies. Dans le lac de Sélingué, la croissance globale de l'espèce était isométrique malgré les variations mensuelles. L'étude doit se poursuivre pour confirmer les tendances obtenues. Déjà, les résultats semblent indiquer que *Tilapia zillii* serait un bon candidat, pour les aménagements hydroagricoles, dans le cadre de la pisciculture villageoise.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST) du Mali et le Secrétariat Exécutif du Fonds Compétitif pour la Recherche et l'innovation Technologique (FCRIT) pour le financement de l'étude. Ils remercient aussi les communautés de pêche et les services techniques de la pêche de la commune rurale de Baya pour leurs collaborations dans la recherche des poissons. Ils remercient également les anonymes qui ont bien voulu participer à la lecture de l'article.

REFERENCES

- [1] D. Paugy, C. Lévêque C. et G.G. Teugels, Poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest. *Collection faune et flore tropicales, n° 40, MARC/MNHN/IRD*, tome 2, Paris, 2003b.
- [2] J. Quensière, La pêche dans le delta central du Niger. Approche pluridisciplinaire d'un système de production halieutique. *IER/ ORSTOM/Karhala*, volume 2, Paris, 1994.
- [3] Y.d.Y. Karambé, Y. Sanogo, I. Savané et I. Yakubu, *Ichthyological diversity trend of sélingué hydroelectric dam lake in Mali. African Journal of Earth and Environmental Sciences, Mainden* edition, 2019, pp. 85-98.
- [4] J. Kantoussan, *Impacts de la pression de pêche sur l'organisation des peuplements de poissons : Application aux retenues artificielles de Sélingué et de Manantali, Mali, Afrique de l'Ouest*. Thèse de doctorat, Agrocampus Rennes, 2007.
- [5] M. El Bakali, M. Talbaoui et A. Bendriss, Période de reproduction, sex-ratio et maturité sexuelle du Rouget de roche (*Mullus surmuletus* L., Téléostéens, Mullidae) de la côte nord-ouest méditerranéenne du Maroc, In *Biologie et Ecologie des poissons d'eau douce africains*, C. Levêque, M. N. Bruton et G. W. Ssentogo, ORSTOM, Paris, pp. 153-175, 1988.
- [6] C. Lévêque, "Croissance et ontogénie", in *Les poissons des eaux continentales africaines. Diversité, écologie, utilisation par l'homme*, C. Lévêque et D. Paugy, Édts IRD, Paris, 2006, pp. 177-190.

- [7] G. Teissier, La relation d'allométrie, sa signification statistique et biologie. *Biometris*, pp. 14-53, 1948.
- [8] A. Q. Siddiqui, 1979. Reproductive biology of *Tilapia zillii* (Gervais) in Lake Naivasha, Kenya. *Environmental Biology of Fishes*, vol. 4, pp. 257-262, 1979.
- [9] H. K. H. A. El-Sayed et S.G. Moharram, Reproductive biology of *Tilapia zillii* (Gerv, 1848) from Abu Qir Bay, Egypt. *Egyptian journal of aquatic research*, vol. 33, pp. 379-394, 2007.
- [10] Y. N'guessan, C. Diaha N'Guessan, J. Monin Amande, J.P. Angui Kouamé, E. Edoukou Abekan, F. N'dri Assan et K. N'Da, Sex-ratio, stades de maturité, taille de première maturité et facteur de condition de *Canthidermis maculata* capturé dans l'océan Atlantique Est. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* vol. 11(6): pp. 2876-2886, décembre 2017.
- [11] B.C. Atsé, K. Konan, N.J. Kouassi, Biologie de la reproduction du Cichlidae *Tylochromis jentinki* dans la lagune Ébrié (Côte d'Ivoire). *Cybium*, vol. 33 (1): pp. 11-19, 2009.
- [12] E. D. Zouakh, F. Chebel, A. Bouaziz et M. Karah., Reproduction, age and growth of *Tilapia zillii* (Cichlidae) in Oued Righ wetland (southeast Algeria). *Cybium : International Journal of Ichthyology*, vol. 40 (3): pp. 235-243 2006.
- [13] L. Boni, C. S. K. Nobah, K.J. Konan, S. Coulibaly, A. S. Tidou et B. C. Atsé., Relation longueur-poids pour 15 espèces de Poissons exploitées dans la Lagune Ebrié, Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest). *European Scientific Journal*, vol. 15, n°21, pp. 1857-7881, 2019.
- [14] W. F. A. Mahomoud, A. M. M. A. Amin, K. F. E. Ramadan et R. A. M. El-Halfawy, 2011. Reproductive biology and some observation on the age, growth, and management of the *Tilapia zillii* (Gerv, 1848) from Lake Timsah, Egypte. *International Journal of Fisheries and Aquaculture*, vol. 3 (2), pp. 16-26, février 2011.
- [15] D. Plisnier, J. C. Micha et V. Frank, *Biologie et exploitation des poissons du Lac Ihema (Bassin Akagera, Rwanda)*. Presses Universitaires de Namur, 1988.
- [16] J. C Micha, *Etudes des populations piscicoles de l'Ubangui et tentatives de sélection et d'adaptation de quelques espèces à l'étang de pisciculture*. Centre Technique Forestier Tropical, Nogent-sur-Marne, 1973.
- [17] A. Bladier, *Relation entre sex ratio et taille de population chez les vertébrés*. DESS en informatique documentaire, Université Claude Bernard, Lyon 1, 1995.
- [18] T.B. Bagenal et F. W. Tesch, "Age and Growth", in *Methods for Assessment of Fish Production in Freshwater*, T. Bagenal Ed., IBP Handbook 3. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK, 1978, pp. 101- 136.

Effets des phytohormones sur la production des semences chez *Ananas comosus* merrill var. *cayenne* par les techniques de culture *in vitro*

Hubert Dieu Béni Elian^{1,3*}, Fotso^{1,2} et Denis OmokoloNdoumou¹

¹Laboratoire de Physiologie et Biochimie Végétales, Ecole Normale Supérieure, Université de Yaoundé 1. Yaounde, Cameroun

²Département de Biologie, Ecole Normale Supérieure de Bamili, Université de Bamenda, Bamenda, Cameroun

³Département d'Agriculture, Institut Supérieur de Développement Rural, Université de Bangui, Bangui, République centrafricaine

Courriel de l'auteur correspondant : eliandieubeni@gmail.com

RESUME : *Ananas comosus* (Broméliacée) est une herbacée pérenne purement tropicale dont les fruits sont appréciés. L'espèce cultivée est diploïde auto-incompatible et produit peu de semences. La présente étude a pour principal objectif de rechercher les conditions de culture *in vitro* favorables à la régénération rapide et en masse des plants d'*Ananas comosus* afin d'établir un protocole pour la propagation. L'explant utilisé est l'apex issu de la couronne. Après désinfection, les apex prélevés sur les couronnes d'*Ananas comosus* var. *cayenne*, sont mis en culture sur un milieu Murashige et Skoog (MS) complet contenant différentes concentrations de Benzylaminopurine (BA), de la kinétine (Kin), d'acide 2,4-Dichlorophénoxyacétique (2,4-D), d'acide Naphthylène Acétique (NAA) ainsi des combinaisons BA/NAA et BAP/2,4-D ont été étudiés. L'ANA favorise la callogenèse avec des maxima de 87,5 % avec 3 ou 4 mg.l⁻¹ contre 100 % en présence de 1,5 ou 2 mg.l⁻¹ 2,4-D. La BAP à 2 mg.l⁻¹ et la Kin à 3 mg.l⁻¹ ont permis la prolifération de plus de 100 bourgeons par cal. Le rapport BAP/ANA à 2/2 mg.l⁻¹ a permis l'enracinement et la néoformation des feuilles des vitroplants avec un nombre moyen de maximal de 11,16 ± 1,4 feuilles et 8,8 ± 1,2 racines par vitroplants et 11,41 ± 2,00 feuilles et 9,8 ± 2,5 racines en présence de 2/3 mg.l⁻¹ de BAP/2,4-D. certains plantules ont été acclimatées sur un mélange terre vermiculite. L'acclimatation des vitroplants pendant 70 jours a réussi à 86 %. Les apex sont de bons matériels de départ pour la régénération indirecte d'*Ananas comosus*. Leur utilisation permet de régénérer un grand nombre de vitroplants et augmente ainsi les potentialités de production *in vitro* de matériel végétal sain chez *A. comosus*.

Mots clés : Phytohormones, *Ananas comosus*, culture *in vitro*, vitroplants.

I. INTRODUCTION

Le genre *Ananas*, de la famille des Broméliacées, comporte plusieurs espèces. Cependant, toutes les variétés ou cultivars actuellement exploités pour leur fruit à des fins de consommation en frais et d'industries agroalimentaire ou pharmaceutique appartiennent à une seule d'entre elles : *Ananas comosus* [1]. Au Cameroun, la production d'ananas d'exportation a connu une hausse de 97% au cours dernières décennies. L'ananas, *Ananas comosus* L. Merrill est une plante vivace, originaire d'Amérique tropicale et subtropicale. Le genre *Ananas* comporte plusieurs espèces. Cependant, toutes les variétés et les cultivars actuellement exploités pour leurs fruits à des fins de consommation en frais et d'industries agroalimentaire ou pharmaceutique appartiennent à une seule d'entre elle : *Ananas comosus* [1]. L'espèce cultivée est diploïde auto -incompatible et produit peu de semences. La production commerciale repose essentiellement sur six (6) var. *cayenne* lisse est devenue le pilier de l'industrie de l'ananas en raison de son potentiel de rendement et de ses qualités, tant pour les frais que pour la conserve. La facilité d'export-import a permis d'augmenter le marché à 10 millions de tonnes par année [2]. La production de l'ananas est limitée par la rareté des semences et par l'attaque des parasites notamment les

champignons du genre *Phytophthora* et fructification. Le manque de matériel végétal de bonne qualité sanitaire est l'une des contraintes majeures de l'extension et de pérennisation des plantations d'ananas dans les pays producteurs [3]. La culture *in vitro* est une technique de multiplication qui permet de disposer rapidement de matériel de plantation de bonne qualité sanitaire. Ces qualités sont recherchées dans le cadre de la multiplication rapide de nouvelles variétés sélectionnées et du renouvellement de plantations. Elle reste une voie possible pour l'amélioration de cette espèce. L'objectif général de ce travail est de rechercher les conditions de culture *in vitro* favorables à la régénération rapide et en masse des plants d'*Ananas comosus* afin d'établir un protocole pour la propagation.

II. MATERIEL ET METHODES

2.1. Matériel biologique et aseptisation

Le matériel biologique utilisé est constitué des boutures traditionnelles d'*Ananas comosus* var. *cayenne* achetées sur les marchés de Yaoundé (Cameroun), qui ont été débarrassées de leurs couronnes et leurs vieilles feuilles. Ce matériel a été lavé sous un courant d'eau de robinet pendant 10 minutes suivi d'un lavage sous un courant d'eau distillée pendant 2 heures puis aseptisé par trempage

dans du Tween 20 à 1% pendant 5 minutes et dans l'hypochlorite de sodium 30 % pendant 45 minutes enfin trois rinçages successifs de 5, 10 et 15 minutes respectivement à l'eau distillée stérile ont été fait sous une hotte à flux laminaire horizontale (MECAPLEX) près de la flamme d'un bec bunsen.

III. METHODES

3.1. Condition de culture

Le milieu de base le plus indiqué pour la régénération et la croissance des explants d'*Ananas comosus* est le milieu [4] Murashige et Skoog (1962) complet auquel on a ajouté 30 g/l de saccharose, 7 g/l d'agar et le complexe vitaminique de [5] Morel et Wetmore (1951). Le pH du milieu est ajusté à 5,6 (pH-mètre METROHM) à l'aide d'une solution de HCl 0,1N ou de NaOH 1N. Le milieu de culture est reparti dans des tubes de culture (SCHOTT, 25 x 115 mm) à raison d'environ 10 ml par tube et stérilisés par l'autoclave à 121°C pendant 20 minutes. Sous une pression de 1,6kg x cm⁻². Les ensemencements se font sous une hotte à flux laminaire horizontale (MECAPLEX) près de la flamme d'un bec bunsen. Avant la mise en culture, la partie basale de chaque explant dont les cellules sont tuées par les solutions aseptisantes est éliminée à l'aide d'un scalpel stérile. Les cultures sont entreposées dans une chambre de culture où régissent les conditions suivantes : température: 26±1°C; éclairement lumière fluorescence (OSRA M) 80mol.m⁻².s⁻¹; photopériode: 16/8.

3.2. Induction de la callogenèse

Des expériences réalisées sur MB enrichis en cytokinines ont montré que l'ANA et le 2,4-D favorisent la callogenèse chez *A. comosus*. Ainsi, l'ANA ajouté à MS complet à 1; 1,5; 2 ; 2,5 et 3 mg.l⁻¹ et MS complet à 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 et 3 mg.l⁻¹ ont permis d'étudier l'influence de ces phytohormones sur la callogenèse. Pour tous ces essais, le milieu sans phytohormones est considéré comme témoin. Vingt-quatre explants sains sont mis en culture en polarité normale pour chaque concentration d'ANA ou de 2,4-D et l'essai est répété trois fois. A la fin de chaque expérience qui dure environ 35 jours, le pourcentage de callogènes est noté pour chaque concentration en ANA ou en BAP.

3.3. Induction des bourgeons néoformés

Les cals obtenus à partir d'apex d'ananas sont repiqués séparément sur les milieux de bourgeonnement qui sont constitués de MS complet + vitamine de Morel et Wetmore + 30 g.l⁻¹ de saccharose + 7g.l⁻¹ d'agar (MB) auquel on a ajouté 0; 0,5; 1; 1,5; 2 et 3 mg.l⁻¹ BAP et MB auquel on a ajouté 0; 0,5; 1; 1,5; 2 et 3 mg.l⁻¹, pH 5,6. Vingt-quatre cals sont mis en culture pur chaque concentration de BAP ou de Kin et l'expérience est répétée deux fois. A la fin de culture (60 jours), les pourcentages des cals bourgeonnant sont notés pour chaque concentration de BAP ou de Kin. De même, le nombre moyen de

bourgeons néoformés par le cal est noté dans chaque milieu.

3.4. Régénération des plantules

Les bourgeons induits sur cal isolés sont séparés sous la hotte à flux laminaire horizontal au voisinage de la flamme du bec bunsen. Ils sont ensuite repiqués dans des tubes de culture contenant les milieux de régénération. Les milieux de régénération sont constitués d'un milieu de base enrichi de différentes concentrations de BAP/ANA ou de BAP/ 2,4-D. Le pH de tous les milieux est ajusté à 5,6. Toutes les cultures sont placées dans les mêmes conditions telles que décrites dans le paragraphe II.1.3. Pour chaque rapport en BAP/ANA ou en BAP/2,4 D, vingt-quatre bourgeons formés sont repiqués. Les observations sont faites tous les 10 jours pendant 120 jours. A cette date, les paramètres de croissances suivants sont enregistrés dans chaque cas: le nombre de feuilles nouvellement formées par plantules ; le nombre de racines formées par plantules.

3.5. Acclimatation

Les vitroplants de 2 mois sont repiqués dans des sachets polyéthylènes perforés de 18 cm de hauteur et 12 cm de diamètre, remplis d'un mélange de terre noire et de vermiculite dans le rapport (v/v). Ce mélange est préalablement stérilisé à l'étuve (marque REPLE) à 170°C pendant 2 heures. Les pots sont abondamment arrosés à l'eau stérile et recouverts d'un couvercle transparent pour maintenir une humidité élevée. Après 20 jours les couvercles transparents sont ôtés et les pots sont placés à l'extérieur sous un abri qui assure la protection des plantules contre des précipitations trop fortes et des ensoleillements trop vifs. Les plants sont maintenus dans ces conditions 15 à 20 jours. Les plants sont retirés de l'abri et placés en plein air. Après 30 jours, ils sont prêts pour être transférés en champ. A la fin de chaque étape, les plants morts sont comptés, afin d'évaluer le taux de survie.

Analyse statistique

Toutes les données obtenues ont fait l'objet d'une analyse par ANOVA en utilisant le logiciel SPSS 20 pour Windows. Le test de Tukey a été utilisé pour déterminer toute différence significative entre les différentes variétés au seuil de p<0,05. Les résultats ont été exprimés sous forme de moyennes ± l'écart-type. Toutes les expériences ont été réalisées en quatre répétitions

IV. RESULTATS

4.1. Callogenèse

Chez *A. comosus*, la callogenèse est induite à partir d'apex sur milieu MS. Au bout 30 jours, des cals friables et jaunâtres sont obtenus en présence d'ANA et de 2,4-D (Figure 3A et B). Le pourcentage de callogenèse varie en fonction de la concentration des différentes phytohormones du milieu. Le pourcentage

de callogenèse passe de 8,33% en présence de 0,5 mg.l⁻¹ d'ANA à un maximum de 87,5% avec 3 ou 4 mg.l⁻¹ (Figure 1). Au-delà de cette concentration, ce pourcentage de callogenèse baisse et atteint un minimum de 37,5 mg.l⁻¹ avec 5 mg.l⁻¹ d'ANA (Figure 1). Avec le 2,4-D, le pourcentage callogène passe de 20 % en présence de 0,5 mg.l⁻¹ à un maximum de 100 % avec 1,5 ou 2 mg.l⁻¹ (Figure 2). Au-delà de cette concentration, ce pourcentage de callogenèse baisse et atteint un minimum de 41,6% avec 3 mg.l⁻¹ (Figure 2). Ces cals maintenus dans le même milieu pendant 60 jours différencient quelques bourgeons en moyenne 10 ± 2 pouvant être repiqués sur un milieu de régénération après isolement. En absence d'ANA et de 2,4-D (0 mg.l⁻¹), il ne se forme pas de cal (0 %). Ces auxines sont indispensables à cette organogénèse.

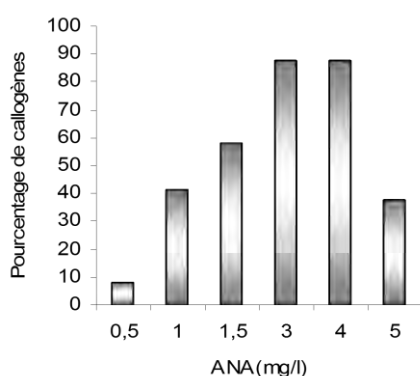


Figure 1. Effets d'ANA sur l'induction des cals à partir des cals d'apex isolés des couronnes couronnes d'*A. comosus* après 30 jours de culture.

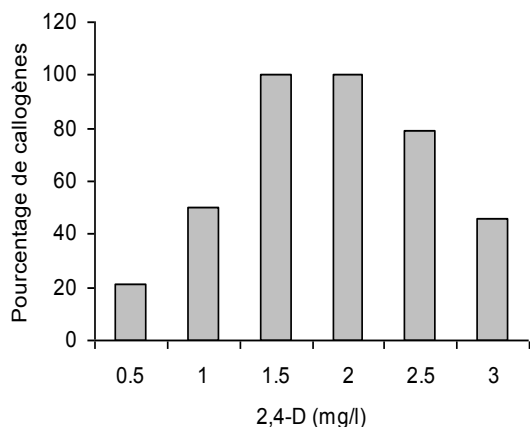


Figure 2. Effets de 2,4-D sur l'induction des cals à partir des cals d'apex isolés des couronnes couronnes d'*A. comosus* après 30 jours de culture.

4.2. Effet de BAP sur la prolifération des bourgeons sur cals

Chez *A. comosus*, les cals issus d'apex sont cultivés pendant 30 jours sur milieu MS complet auquel on a ajouté 0 à 5 mg.l⁻¹ BAP. Le pourcentage des cals bourgeonnants passe de $40,27 \pm 4,80$ % en présence de 1 mg.l⁻¹ BAP à un maximum de 100 ± 2 % avec 2 mg.l⁻¹. Au-delà de cette concentration, ce pourcentage

baisse et atteint un minimum de $63,88 \pm 20,97$ mg.l⁻¹ avec 5 mg.l⁻¹ de BAP. Le nombre moyen des bourgeons formés par cal en présence de BAP passe de $29,33 \pm 3,05$ en présence de 1 mg.l⁻¹ à un maximum de plus de 100 bourgeons avec 2 mg.l⁻¹ (Figure 3C et D). Au-delà de cette concentration, ce nombre baisse et atteint une valeur minimale de $46,33 \pm 3,15$ mg.l⁻¹. (Tableau 1). Ces bourgeons maintenus dans le même milieu pendant 60 jours se développent en plantules et prennent un aspect vert foncé (Figure 3E).

Tableau 1. Effet de la concentration de la BAP sur la prolifération et le nombre moyen de bourgeons par cal chez *A. comosus* après 30 jours de culture

Concentration de BAP (mg.l ⁻¹)	Pourcentage de cals bourgeonnants	Nombre moyen de bourgeons formés par cal
0	0	0
1	$40,27 \pm 4,80$ d	$29,33 \pm 3,05$ d
2	$100 \pm 0,00$ a	> 100 a
3	$80,55 \pm 8,67$ c	$64 \pm 4,00$ b
4	$65,27 \pm 4,80$ b	$58,33 \pm 3,51$ b
5	$63,88 \pm 20,97$ b	$46,33 \pm 3,15$ c

Les valeurs qui portent la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes d'après le test de Tukey ($p < 0,05$).

4.3. Effet de la kinétine

Avec cette phytohormone, le pourcentage de bourgeonnement passe de $54,16 \pm 4,16$ % en présence de 1 mg.l⁻¹ à un maximum de $86,10 \pm 8,67$ % avec 3 mg.l⁻¹ Kin (Figure 3F). Au-delà de cette concentration, ce pourcentage baisse et atteint une valeur minimale de $51,38 \pm 8,67$ % avec 5 mg.l⁻¹ (Tableau 2). Le nombre moyen de bourgeons formés passe de $40,33 \pm 7,63$ avec 1 mg.l⁻¹ de Kin à plus de 100 bourgeons avec 3 mg.l⁻¹ (Figure 2). Au-delà de cette concentration, ce nombre baisse et atteint une valeur minimale de $52,00 \pm 11,13$ bourgeons par cal avec 5mg. Les bourgeons néoformés sont obtenus après 30 jours de culture (Figure 3G.). Ces bourgeons maintenus dans le même milieu pendant 60 jours se développent en plantules portant des racines (Figure 3G.).



Figure 3. Aspects morphologiques des cals induits à partir des apex (A: MB + 4 mg.l⁻¹ ANA; B: MB + 2 mg.l⁻¹ 2,4-D (trait =1cm) après 30 jours de culture et effets de la BAP (A, B et C : Bourgeons induits sur MS + 1,5 et 2 mg.l⁻¹ BAP respectivement) et effet de la kinétine (D et E : Bourgeons induits sur MS + 2 et 3 mg.l⁻¹ kinétine BAP) sur la prolifération des bourgeons à partir des cals après 30 jours de culture (trait =1,5 cm).

Tableau 2. Effet la concentration de kinétine sur la prolifération des bourgeons et le nombre moyen de bourgeons par cal chez *A. comosus* après 30 jours de culture.

Concentration de Kin (mg.l ⁻¹)	Pourcentage de cals bourgeonnants	Nombre moyen de bourgeons formés par cal
0	0	0
1	54,16 ± 4,16 d	40,33±7,63 bc
2	77,77 ± 6,36 b	57,00±9,83 b
3	86,10 ± 8,67 a	> 100 a
4	63,88 ± 4,80 c	66,66 ± 7,57 bc
5	51,38 ± 8,67 d	52,00 ± 11,13b

Les valeurs qui portent la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes d'après le test de Tukey ($p < 0,05$).

4.5. Régénération d'*Ananas comosus* à partir des bourgeons néoformés sur cal

Les bourgeons formés sur cal d'ananas sont isolés et repiqués dans les mêmes conditions que sur les milieux de régénération en vue de leur transformation en vitroplants complets.

4.6. Effets des combinaisons BAP/ANA

Les bourgeons d'*A. comosus* sont isolés des cals et repiqués sur le milieu MS complet contenant 2 mg.l⁻¹ BAP et 1 à 5 mg.l⁻¹ ANA. Tous les bourgeons repiqués reprennent tous la croissance en 10 jours. Après 60 jours de culture, le meilleur développement est obtenu avec le rapport de 2/2 (2 mg.l⁻¹ BAP et 2 mg.l⁻¹ ANA). Les vitroplants dans ces conditions ont une moyenne de 11,16 ± 1,4 feuilles néoformées et 8,8 ± 1,2 racines (Tableau. 3, Figure 4A). Les autres rapports hormonaux donnent des résultats inférieurs.

Tableau 3. Effets de la concentration en ANA sur la régénération d'*A. comosus* à partir des bourgeons néoformés sur cal après 60 jours de culture sur MS en plus BAP mg.l⁻¹.

Concentration d'ANA (mg/l)	Nombre de feuilles néoformées/vitroplant (moyenne ± écart type)	Nombre de racines néoformées /vitroplant (moyenne ± écart type)
1	10,50 ± 2,1c	6,6 ± 2,3c
2	11,16 ± 1,4a	8,8 ± 1,2a
3	7,33 ± 2,0c	7,6 ± 1,9c
4	10,00 ± 1,4b	6,6 ± 1,9c
5	7,66 ± 2,1c	7,4 ± 1,6c

Les valeurs qui portent la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes d'après le test de Tukey ($p < 0,05$).

4.7. Effets des combinaisons BAP/2,4-D

Le rapport de BAP/2,4-D égale à 2/3 (2 mg.l⁻¹ BAP et 3 mg.l⁻¹ 2,4-D) permet le meilleur développement du port végétatif. Après 60 jours de culture, les vitroplants

portent en moyenne 11,41 ± 2,0 feuilles néoformées de couleur verdâtre et 9,8 ± 2,5 racines (Tableau 4, Fig. 4A et B). Tous les autres rapports testés ont donnés des résultats relativement faibles.

Tableau 4. Effets de la concentration en 2,4-D sur la régénération d'*A. comosus* à partir des bourgeons néoformés sur cal après 60 jours de culture sur MS en plus BAP 2 mg.l⁻¹.

Concentration de 2,4-D (mg/l)	Nombre de feuilles néoformées/vitroplant (moyenne ± écart type)	Nombre de racines néoformées /vitroplant (moyenne ± écart type)
1	8,50 ± 1,8 c	8,4 ± 2,6 b
2	11,00 ± 1,8 a	8,8 ± 1,9 b
3	11,40 ± 1,2 a	9,8 ± 2,5 a
4	10,16 ± 2,1b	8,6 ± 2,5 b
5	9,32 ± 1,2 c	8,2 ± 3,9 b

Les valeurs qui portent la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes d'après le test de Tukey ($p < 0,05$).

4.8. Taux de régénération et acclimatation des vitroplants

En utilisant la BAP à 2 mg.l⁻¹ sur les cals, on induit en moyenne la prolifération de plus de 100 bourgeons par cal issus des fragments des apex de d'*A. comosus*. Si on utilise la kinétine à 3 mg.l⁻¹, on induit la prolifération de plus de 100 bourgeons par cal sur ces mêmes explants. Lorsque ces bourgeons repiqués sur le même

milieu de base enrichi avec un rapport BAP/ANA (2/2) et un rapport de BAP/2,4-D (2/3), des vitroplants entiers sont régénérés. Sur 50 vitroplants acclimatés pendant 70 jours, 43 survivent à l'acclimatation, soit 86% de succès (Figure 4C) et tous les survivants sont transférés en champs (Figure 4D).

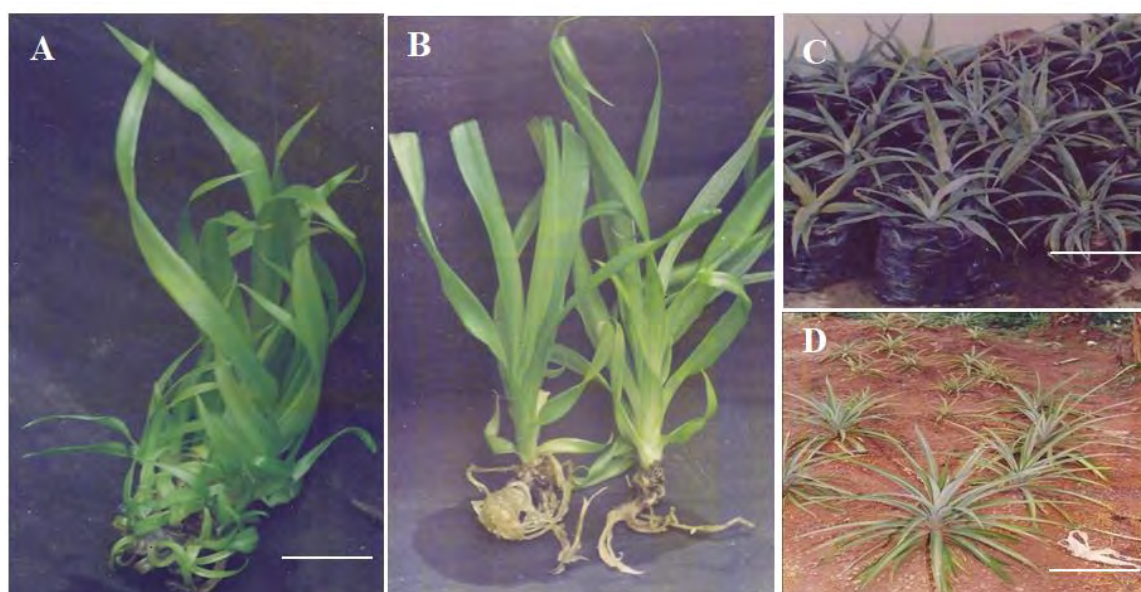


Figure 4. Plantules d'ananas régénérées après 60 jors de culture (A et B) et acclimatées après leur repiquage sur un substrat de terre et vermiculite (v/v) après 70 jours (C) et elles sont transférées champ (D) (trait = 1,5 cm).

V. DISCUSSION

La méthode classique de multiplication de l'ananas est limitée du fait d'un faible nombre de rejets (0 à 3) produit par plante et en champ (Anonyme, *cit.* [1]). Les techniques de culture *in vitro* utilisées actuellement pour la propagation rapide de cette plante permettent la production d'un grand nombre de plantule et leur assainissement [6]. Ces techniques permettent de contourner les difficultés de la multiplication végétative classique [7]. L'objectif visé dans cette étude a consisté d'étudier en culture *in vitro* les potentialités de la production des semences d'*A. comosus* afin d'établir un protocole pour la régénération. Les étapes suivantes ont été étudiées au cours de ce processus: la callogenèse, l'induction des bourgeons, la régénération à partir des bourgeons néoformés sur cal et l'acclimatation des plantes régénérées. Cependant, la micropropagation indirecte de l'ananas a été réalisée en utilisant les apex de la couronne. La micropropagation des espèces par induction des bourgeons sur les cals n'est pas une technique nouvelle. En effet, de nombreux auteurs avaient déjà préconisé l'exploitation de l'état juvénile des explants de diverses sources pour induire la callogenèse et la néoformation des bourgeons [8]; [9]; [10]. Les auxines utilisées pour induire la callogenèse sur les explants de l'ananas dans ce travail sont le 2,4-D et l'ANA. Ce choix tient aussi du fait que, ces deux phytohormones en dehors de leur pouvoir rhizogène; sont utilisées pour induire la callogenèse chez la plupart des espèces [10]. D'après ces résultats, les pourcentages de callogenèse obtenus varient considérablement en fonction de la concentration des auxines dans le milieu de culture. Ainsi, en conditions optimales 100 % des apex mis en culture forment des cals en présence de 1,5 ou 2 mg.l⁻¹ de 2,4-D contre 87,5% en présence de 3 ou 4 mg.l⁻¹ d'ANA. Des résultats semblables ont été obtenus par [11] à partir des apex d'ananas. La présence de ces phytohormones dans le milieu de culture est indispensable pour que la callogenèse ait lieu. Cet effet callogenèse a été démontré chez *Irvingia gabonensis* et *Irvingia wambulu* [12]. L'induction de la prolifération des bourgeons sur cal de l'espèce étudiée a été obtenue avec la BAP et la Kin. Les cytokinines en général, la BAP et la Kin en particulier sont reconnues comme des phytohormones qui favorisent l'organogenèse en général et la formation des bourgeons en particulier en culture *in vitro* différentes espèces [13]. Les pourcentages des cals qui bourgeonnent et le nombre moyen des bourgeons induits varient significativement avec la concentration de la BAP et de la Kin dans le milieu de culture [10]. Dans les conditions optimales, on dénombre en moyenne plus de 100 bourgeons par cal et 100 ± 2 % des cals issus des apex forment des bourgeons en présence de BAP. Des résultats analogues ont été obtenus par [14] avec les apex de l'ananas en présence de l'AIA

et de BAP. Avec la Kin, 86,10 ± 8,67 % des cals issus des apex donnent des bourgeons. Chaque cal porte dans des conditions optimales plus de 100 bourgeons. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par [15]; [16] qui ont menés des travaux sur la régénération *in vitro* de l'ananas à partir des apex cultivés en milieu semi-liquide. Des vitroplants entiers sont régénérés à partir des bourgeons néoformés. Cette régénération nécessite un apport simultané de la BAP et de l'ANA ou de la BAP et du 2,4-D. L'apport simultané d'une cytokinine et d'une auxine dans la régénération des vitroplants *in vitro* a été démontré chez plusieurs espèces [10]. Les deux types de phytohormones agiraient en complémentarité [17]. Les cytokinines favoriseraient en général le développement du port végétatif tandis que les auxines favoriseraient la rhizogenèse [18]. Pour ces résultats, le rapport BAP/ANA égale à 2/2 est plus favorable à la formation des vitroplants à partir des bourgeons proliférés sur cal. Avec l'équilibre BAP/2,4-D, c'est le rapport 2/3 qui est le plus favorable à l'obtention des vitroplants enracinés. En effet, à la fin des cultures (120 jours), tous les bourgeons repiqués ont formés des vitroplants enracinés portant en moyenne 7,66 ± 2,1 à 11,41 ± 2,00 feuilles et 6,6 ± 2,3 à 9,8 ± 2,5 racines. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par [19] chez le caroubier (*Ceratonia siliqua*). Le taux de réussite est déterminé par les conditions d'acclimatation des vitroplants régénérés. Dans ces travaux, un taux de réussite de 86 % des vitroplants a été obtenu à partir des bourgeons issus des cals. Ce taux de réussite est noté généralement chez quelques espèces telles que : *A. comosus* [1] et le manioc [20].

VI. CONCLUSION

La micropropagation indirecte *in vitro* d'*Ananas comosus* var. *Cayenne* a été réalisée à partir des apex issus de la couronne. Le travail effectué avait pour but principal d'étudier en culture *in vitro* les potentialités de la production des semences d'*A. comosus* afin d'établir un protocole pour la propagation. En culture *in vitro*, l'effectivité et la réussite d'une régénération dépendent de plusieurs facteurs tels que le choix de l'explant; le type de milieu de base; le choix des phytohormones et la recherche de l'équilibre hormonal de milieu de culture. Dans ce travail, la production des semences d'*A. comosus in vitro* a été réalisée d'abord par la callogenèse qui est induite avec l'ANA et le 2,4-D et le pourcentage de réussite varie en fonction de la concentration en ANA ou en 2,4-D dans le milieu de culture ensuite par la néoformation des bourgeons sur cal. Cette étape est déterminée par les différentes concentrations de BAP et de Kin ensuite la régénération des vitroplants à partir des bourgeons néoformés. Cette phase nécessite un équilibre hormonal entre la BAP et l'ANA ou entre la BAP et le 2,4-D. Elle conduit spécifiquement à l'obtention des vitroplants enracinés. L'acclimatation, qui est la

phase finale dépend des conditions de milieu et surtout de l'enracinement de vitroplants. Dans les conditions favorables définies dans nos travaux, après acclimatation des vitroplants, le taux de réussite est de 86 % après 70 jours de culture.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le laboratoire de Physiologie et Biochimie Végétales (LAF 304) de l'Ecole Normale Supérieure de Yaoundé 1. Yaoundé (Cameroun).

REFERENCES

- [1] N.D. Omokolo, Fotso, M. A. Tita, N. Niemenak, "Régénération directe *in vitro* de l'*Ananas comosus* (L) Merill var. *Cayenne* à partir des couronnes cultivées en milieu liquide". *Fruits* 56 (6) : 415-421, 2001.
- [2] M. F. Duval, J. L. Noyer, X. Perrier, G. Coppens d'Eeckenbrugge, P. Hanon, "Molecular diversity in pineapple assessed by RFLP markers". *Acta Hort*, 102 :83-90, 2001.
- [3] Z. E. Koulong, "Etude du marché des rejets et son influence sur l'instabilité de la production du plantain". Mémoire du DESS, Université de Yaoundé 1, 42p, 1999.
- [4] T. Murashige, F. A. Skoog, "Revised medium for rapid growth and bio-assays with tobacco tissue". *Physiol. Plant* 15: 473-497, 1962.
- [5] G. Morel R. H. Wetmore. "Fern callus tissues culture. *Ann. J. Bot.* 38:141-143, 1951.
- [6] R. A. Drew, "Pineapple tissue culture unequalled rapid multiplication", *Qld. Agric. J.* 106 (5) 447-451. 1980.
- [7] S. Dos Silveira, "Bouturage et microbouturage et *Fraxinus excelsior* L. Aspects morphogéniques et cytophysiologiques". Thèse de doctorat. Université de Paris VI. 310 p, 1994.
- [8] P. Dublin, "Les techniques de production végétative *in vitro* et amélioration de *Cola nitida* chez les caféiers cultivés". *Café Cacao Thé* 28 :231-244, 1984.
- [9] A. D. Legee and R. R. Triperi, "Rapid adventitious shoot regeneration from leaf explants of European birch". *Plant Cell.* 32:123-129, 1993.
- [10] Fotso, "Organogenèse *in vitro* de quelques espèces forestières à usages multiples". Thèse de doctorat d'Etat, Université de Yaoundé 1. 160 p. 2005.
- [11] F. Graciela and B. P. Alicia, "Optimized Growth Conditions and determination of the catalytic type of the peptidase complex from a novel callus culture of pineapple (*Ananas comosus*)". *Plant Cell.* pp. 39-49, 2003.
- [12] Oumar, Fotso, N.D. Omokolo, "Données préliminaires sur la morphogenèse *in vitro* chez *Irvingia gabonensis* et *Irvingia wombolu*". *Biosciences proceedings.* 8:173-177, 2001.
- [13] G. Ducreux, J. Butser, R. Haicour, D. Lavergne, E. Picard, D. Shihachakr, "Recherche récente et Biotechnologie de multiplication végétative". *Cahier d'Agriculture* 7 : 447-448, 1988.
- [14] M. Signone, "Effet de l'ANA, du 2,4-D et de la BAP sur l'induction des bourgeons et la régénération *in vitro* d'*Ananas comosus* var. *Cayenne* (Broméliacée)". Mémoire de DIPES II ENS, université de Yaoundé I. 30p, 2000.
- [15] M. Fokone, "Effet de l'ANA et de la BAP sur la régénération *in vitro* de l'ananas (*Ananas comosus* Merill)". Mémoire de DIPES II ENS, Université de Yaoundé I. 30p. 1999.
- [16] M. Toubia, "Effets de la BAP et de la Kinétine sur la prolifération *in vitro* des bourgeons d'*Ananas comosus* var. *Cayenne* à partir des apex". Mémoire de DIPES II ENS, Université de Yaoundé I. 33p, 2001.
- [17] J.P. Zrýd, 1988. "Méthodologie générale. In : culture des cellules, tissus et organes végétaux. Fondements théoriques et utilisation pratiques". *Presses polytechniques.* Romandes, Lausanne, Suisse. 3-11.
- [18] R. Auge, "Les phénomènes physiologiques liés à la réalisation des cultures *in vitro*. In : La culture *in vitro* et ses applications horticoles". 3è (eds). pp.7-15, 1989.
- [19] M. Belaizi, M.R. Bolen, P. Boxus, "Régénération *in vitro* et acclimation du caroubier (*Cerotonia siliqua* L.)". Ed. AUPEL-UREF. Paris. pp. 227-232, 1994.
- [20] H. D. B. Elian. "Micropropagation du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) et évaluation des marqueurs biochimiques de résistance à *Colletotrichum gloeosporioides* Penz". Thèse de Doctorat/Ph.D. Université de Yaoundé 1. 143 p, 2017.

Qualité physico-chimique des farines de blé et infantiles réceptionnées au Laboratoire National de la Santé (LNS) de janvier à juin 2020

Rokiatou L Maiga^{1*}, Brahim B Traoré^{2*}, Hamadoun A Touré³, Alou Barry²

¹Laboratoire National de la Santé, Mali

²Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako/ Institut des Sciences Appliquées, Mali

³Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako/ Faculté de Pharmacie, Mali

*Courriel de l'auteur de correspondance: brahimab.traore@usttb.edu.ml

RESUME : Au Mali, le pain occupe une part non négligeable dans la ration alimentaire journalière des zones urbaines. Il est le résultat de la mise en œuvre de la farine de blé, d'eau, de levure, de sels et de divers améliorants. Aujourd'hui en plus de la quantité, le consommateur est de plus en plus exigeant en termes de qualité du pain, ce qui nécessite un blé de bonne qualité technologique. Cette dernière est actuellement très recherchée.

Par ailleurs, la malnutrition est la cause la plus importante de mortalité infantile dans notre pays. Elle est caractérisée sur le plan clinique par un apport insuffisant ou excessif de protéines, d'énergie et de micronutriments ainsi que par les infections et les troubles fréquents qui en résultent. La malnutrition se répercute également sur la croissance physique et le développement psychomoteur des enfants (OMS, 2000). Aussi, laisse-t-elle chez des millions de survivants des séquelles permanentes sous forme d'infirmité, de maladies caractérisées par un retard de croissance physique et intellectuelle (FAO, 2009).

L'alimentation de l'enfant participe étroitement aux différents processus de son développement par le choix des aliments progressivement introduits et par des apports quantitativement et qualitativement adaptés à ses besoins évolutifs (Ancellin et Dumas, 2004). Actuellement la farine infantile enrichie est proposée comme solution alternative à la malnutrition.

Face aux différents constats qui précèdent, il urge d'ouvrir une étude sur la qualité physico-chimique des farines de blé et infantiles.

Cette étude a pour objectif d'évaluer la qualité physico-chimique des farines de blé et infantiles produites et vendues localement. Au total 21 échantillons dont 9 farines de blé et 12 farines infantiles de production locale ont été analysés au Laboratoire National de la Santé.

L'évaluation des caractéristiques physico-chimiques a été faite par la mesure des paramètres chimiques et physiques des farines. Ces analyses ont porté principalement sur la détermination du pH, du taux d'humidité, de la teneur en cendre, de l'acidité totale, de la matière grasse, du gluten, des protéines et des glucides.

L'analyse a révélé une présence de non-conformité (en référence aux normes du Codex Alimentarius et de l'AMANORM) pour certains paramètres des farines de blé et infantiles.

Les analyses physico-chimiques ont mis en relief pour l'ensemble des échantillons certaines valeurs de pH légèrement élevées : farine de blé (pH 7,8-7,9-7,9 et farine infantile pH 7,8) bien que la teneur en humidité des variantes de farines analysées soit conforme aux standards utilisés (Codex Alimentarius et AMANORM) excepté deux échantillons de farine infantile (humidité 8,9 et 10,0). Aussi la teneur en matière grasse est en deçà des valeurs normatives (Codex Alimentarius et AMANORM). Cependant la totalité des farines infantiles analysées pour leur taux de glucides est conforme aux spécifications du laboratoire (Codex Alimentarius et AMANORM).

L'étude des paramètres physicochimiques nous a conduits à la conclusion suivante : le taux d'humidité pour les échantillons de farine de blé était conforme aux normes du codex Alimentarius et de l'AMANORM ; le taux de cendre a permis de renseigner la pureté des échantillons.

Mots clés : *Qualité physico-chimique, farine de blé, Farine infantile, Mali.*

1. Introduction

Le terme céréale dérive de cérésse de la moisson. Les céréales, dans la culture ont transformé les hommes primitifs de nomades en sédentaires. Elles n'ont pas perdu de leur importance en cette fin du XX^e siècle. Elles fournissent en moyenne 60% de l'apport énergétique des habitants du globe, voire même 80% dans les pays les plus pauvres et moins de 30% dans les pays les plus développés.

Les pays en voie de développement comme la majorité des pays africains sont caractérisés par des

habitudes alimentaires basées essentiellement sur les céréales.

Au Mali, le pain occupe une part non négligeable de la ration alimentaire journalière des zones urbaines. Il est le résultat de la mise en œuvre de la farine de blé, d'eau, de levure, de sels et de divers améliorants. En dehors de la quantité, le consommateur d'aujourd'hui est de plus en plus exigeant en termes de qualité du pain, ce qui nécessite un blé de bonne qualité technologique. Cette dernière est actuellement très recherchée. Nous nous sommes

référés sur les normes de l'AMANORM (Agence Malienne de Normalisation et de Promotion de la Qualité) et du codex Alimentarius.

En plus, la malnutrition est la cause la plus importante de mortalité infantile dans notre pays. Elle est caractérisée sur le plan clinique, par un apport insuffisant ou excessif de protéines, d'énergie et de micronutriments ainsi que par les infections et les troubles fréquents qui en résultent (OMS, 2000). Au niveau mondial, la malnutrition est responsable de plus de 2,5 millions de décès d'enfants de moins de cinq ans. Elle se répercute également sur la croissance physique et le développement psychomoteur des enfants. Aussi, laisse-t-elle chez des millions de survivants des séquelles permanentes sous forme d'infirmité, de maladies caractérisées par un retard de croissance physique et intellectuelle (FAO, 2009).

L'alimentation de l'enfant participe étroitement aux différents processus de son développement par le choix des aliments progressivement introduits et par des apports quantitativement et qualitativement adaptés à ses besoins évolutifs (Ancellin et Dumas, 2004).

Face aux différents constats qui précèdent, il urge d'ouvrir une étude sur la qualité physico-chimique des farines de blé et d'infantiles. C'est dans ce cadre que se situe ce travail qui a pour objectif général d'évaluer la qualité physico-chimique des farines de blé et d'infantiles produites et vendues localement.

De façon plus spécifique il s'agit de :

- Déterminer quelques paramètres physico-chimiques des farines de blé;
- Évaluer la qualité physicochimique de quelques farines infantiles locales à base de céréales.

2. Matériel et méthodes

2.1 Matériel

Le matériel végétal était composé de farines infantiles à base de céréales de production artisanale locales (Mali) et de farines de blé pour usage boulanger. Au total 21 échantillons de farines dont 12 à base de céréales et 09 échantillons à base de farines de blé ont été recensés au cours des mois de janvier à juin 2020 au Laboratoire National de la Santé du Mali (LNS).

Liste du matériel utilisé : étuve ; titrateur automatique ; balance analytique ; extracteur des lipides ; dessiccateur.

2.2 Méthodes

2.2.1 Echantillonnage des farines

Au total 21 échantillons composés de farines infantiles et boulangères de production locale ont été analysés au LNS de Janvier à Juin 2020.

2.2.2 Analyses physicochimiques

2.2.2.1 Farine de blé

2.2.2.1.1 Taux d'humidité

Le taux d'humidité (TH) des farines a été déterminé selon le règlement CE N° 152 (2009). Pour cela, 05 g (ME) de farines ont été pesés dans un creuset en porcelaine vide préalablement taré (Mo). L'ensemble creuset et échantillon a été porté à l'étuve (Memmert, Espagne) à 105 °C jusqu'à l'obtention d'une masse constante (M1) de l'ensemble creuset-échantillon refroidi au dessiccateur suite à des pesées régulières. Le taux d'humidité a été calculé à partir de l'équation suivante:

$$TH(\%) = \frac{(M_0 + M_E) - M_1}{M_E} \times 100 \quad (1)$$

Mo : masse du creuset vide

ME : masse de l'échantillon avant étuvage

M1 : masse de l'échantillon plus creuset après étuvage

2.2.2.1.2 Taux d'acidité

Peser environ 10g de l'échantillon et l'introduire dans un bécher ; ajouter 60ml d'éthanol à 95°C ; emballer (fermer) et mettre à l'obscurité pendant 24H ; prélever 20ml du surnageant et introduire dans un autre bécher ; ajouter 80 ml d'eau distillée tiède ; remuer et ajouter 05 gouttes de la solution de phénolphthaléine ; titrer avec la solution de soude à 0,05N jusqu'à l'obtention d'une coloration rose ; faire le blanc en 1^{er} position (20 ml alcool à 95 °C + 80ml d'eau distillée tiède + 05 gouttes de la solution de phénolphthaléine).

$$A = \frac{0,0735(n-n')}{100-H} \times 10^5 \quad (2)$$

n : Le volume de soude utilisée pour la neutralisation de la solution d'échantillon alcoolique (ml) ;

n' : Le volume de soude utilisée pour la neutralisation de l'alcool utilisé ;

H : Humidité en pourcentage % ;

A : Acidité (en g de H₂SO₄/100g de farine sèche).

2.2.2.1.3 Taux de gluten

Introduire dans le mortier 33, 33g d'échantillon ; le délayer avec 16ml de chlorure de sodium à 25% de façon à obtenir un pâton homogène qui n'adhère plus ni au mortier ni aux doigts ; le pétrir sous un filet discontinu d'eau, le tamis en dessous pour retenir les fragments de gluten qui se trouveraient entraînés ; continuer le malaxage en comprimant légèrement le pâton en renouvelant la surface avec l'extrémité des doigts ; récupérer le gluten tombé dans le tamis ; malaxer le pâton ; le rinçage est terminé quand l'eau qui s'écoule n'est plus blanc ; essorer le gluten et le déposer sur le papier aluminium ; peser rapidement et placer le gluten dans l'étuve pendant 24h ; refroidir dans un dessiccateur ; peser.

$$\%C = \frac{GH-GS}{GH} \times 100 \quad (4)$$

%C : Capacité d'hydratation du gluten

GH : Gluten humide

GS : Gluten sec

II.2.2.1.4 Taux de cendre

Calciner la capsule ; tarer la capsule après refroidissement ; peser environ 5g d'échantillon dans la capsule ; faire calciner dans le four à 550-650°C pendant 2 heures ; après obtention de la matière carbonneuse portée à 800-950°C pendant 10 à 15 minutes ; retirer et laisser refroidir ; peser.

$$C = \frac{2000P}{100 - \%H} \quad (5)$$

C : la teneur en cendres

P : la masse du résidu en g

H : humidité

2.2.2.1.5 Taux de matière grasse

Peser le matras vide ; peser environ 05g d'échantillon et le mettre dans la cartouche ; enfermer (boucher) avec le coton ; utiliser l'appareil extracteur **MG2T** ; fixer la cartouche à l'extracteur ; mettre de l'hexane ou l'éther de pétrole jusqu'au trait de jauge du matras ; plonger la cartouche dans le solvant ; mettre l'appareil en marche et ouvrir le robinet ; à la tombée de la première goutte, chronométrer jusqu'à 40 minutes ; sortir la cartouche du solvant et chronométrer jusqu'à 90 minutes ; récupérer le solvant ; mettre le matras dans l'étuve pendant 05 minutes ; laisser refroidir le matras dans un dessiccateur et ; peser le matras.

$$MG = \frac{P' - P}{m} \times 100 \quad (3)$$

MG : la teneur en matière grasse

P : le poids du matras vide

P' : le poids du matras chargé

m : la masse de l'échantillon

2.2.2.1.6 Mesure du pH

Peser 10g de l'échantillon ; ajouter 50 ml d'eau distillée ; mélanger et laisser reposer pendant 05 minutes ; passer à la lecture au pH- mètre.

2.2.2.2 Farines infantiles

2.2.2.2.1 Glucides totaux

Peser environ 04g de l'échantillon dans un ballon ; ajouter 40ml d'eau distillée et un1ml d'acétate de Zinc $(CH_3COO)_2Zn$ et 10ml de HCl concentré ; adapter le réfrigérateur au ballon ; brancher le tuyau au robinet et ouvrir ; porter le mélange à ébullition pendant 2heures 30 min au chauffage reflux dès que les premières gouttes tombent (chronométrer) ; laisser refroidir ; ajouter 3 gouttes de la solution de phénophtaléine ; ajouter 20ml de la solution de NaOH à 27% ; verser le tout dans une fiole de 1000 ml en prenant soin de rincer le ballon ; compléter avec l'eau tiède jusqu'au trait de jauge ; filtrer.

Dosage par la méthode de Bertrand

Inversion totale des glucides

Transférer dans un tube à essai 20ml de la solution alcaline, 20ml de la solution de sulfate de cuivre et 20ml de la solution d'échantillon ; chauffer le mélange jusqu'à ébullition pendant 03minutes ; laisser refroidir et centrifuger ; verser dans un bécher le surnageant en faisant bien attention de ne pas perdre de l'oxyde formé ; laver à l'eau chaude le résidu et centrifuger verser le surnageant précédemment dans l'erlenmeyer ; dissoudre le résidu avec 5ml de solution ferrique ; récupérer cette solution dans un autre bécher ; rincer encore le tube avec la solution ferrique jusqu'à la récupération complète du résidu ; titrer avec la solution de $KMnO_4$ étalonnée jusqu'à la coloration rose.

$$Cu = XV \quad G = \frac{S}{M \times V_0} \quad (6)$$

V : la descente de burette (ml)

X : la quantité de Cu (mg) correspondant à 1ml de $KMnO_4$

Cu : la quantité de cuivre (mg) correspondant au taux de glucides totaux de l'échantillon

S : la correspondance de Cu en sucre interverti dans le tableau de Fehling

G : le total de glucides totaux (en %)

M : la prise d'essai (g)

V₀ : le volume pris pour le dosage (20ml)

2.2.2.2.2 Protéines

Minéralisation

Peser 0,50 g ou 0,50ml (pour les liquides) de l'échantillon dans le tube de minéralisation ; ajouter 01comprimé de KJELDATL ; ajouter 10ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) ; ajouter 15ml de peroxyde hydrogène H_2O_2 et remuer ; placer le tube dans le minéralisateur et faire le blanc dans les mêmes conditions ; fermer hermétiquement les tubes et s'assurer que les tuyaux du bloc KJELDAHL et pompe à eau sont bien branchés au robinet et ouvrir ; mettre le bloc KJELDAHL sous tension et attendre ; appuyer sur Start lors qu'il apparait sur l'écran ready ; la minéralisation est terminée lorsque la solution devient claire et limpide ; le minéralisateur se met à sonner lorsque la durée programmée est épuisée ; l'éteindre et laisser la solution refroidir.

Faire le blanc dans les mêmes conditions.

Distillation

Ajouter 50ml d'eau distillée (tiède) ; ajouter 40ml de la solution de soude (NaOH) dans le tube ; mettre le distillateur sous tension ; ouvrir le robinet et régler le débit d'eau ; placer le matras contenant 100ml d'eau distillée à son emplacement ; placer un bécher contenant 50ml de la solution d'acide borique 04% pour la récupération du distillat ; lancer un cycle de rinçage en appuyant sur la touche « M/A Rinçage » ; lorsque le cycle est terminé remplacer le tube d'eau par celui de la solution ; minéraliser (échantillon) ;

A la fin vérifier avec du papier pH les gouttes du distillat qui doit être neutre.

Titration

Ajouter 02 à 03 gouttes de la solution de rouge de méthyle ; doser l'azote avec H_2SO_4 à 0,1N jusqu'à la coloration rose ; le dosage est terminé lorsque la coloration rose persiste pendant 05minutes.

$$\%N = \frac{(0,0014 \times V)}{m} \times 100 \quad (7)$$

$$\%P = 6,25 \times \%N$$

N : pourcentage en azote

m : masse de l'échantillon prélevé

V : volume obtenu lors de la descente de burette

P : Pourcentage en protéines

3. Résultats et discussion

3.1 Résultats

3.1.1 Caractéristiques physicochimiques des farines de blé

Le Tableau 1 présente les valeurs des caractéristiques physico-chimiques des farines de blé en fonction de chaque échantillon.

Le pH des farines de blé analysées varie de 6,2 à 7,9. Pour ce qui concerne le taux d'humidité, il varie respectivement de 4,1 à 21,0. Quant au taux de cendre, il est compris entre 0,6 et 6,7.

Pour l'acidité totale ; elle varie de 4,7 à 69,0. Ensuite, les teneurs en matière grasse vont de 1,2 à 12,3 %. Enfin, les teneurs en gluten se placent entre 2,1 à 14,7.

Tableau 1: valeurs des caractéristiques physicochimiques des farines de blé

Farines de blé	pH	Humidité	Cendres	Acidité totale	Matière grasse	Gluten
E ₁	6,3	11,1	0,8	45,5	1,3	10,7
E ₂	6,2	11,0	0,8	44,6	1,5	9,9
E ₃	6,8	11,3	0,6	4,7	12,3	2,1
E ₄	6,9	10,5	0,6	32,9	7,9	8,6
E ₅	6,7	11,0	1,2	41,3	9,0	9,6
E ₆	6,9	9,5	4,2	32,5	1,2	9,5
E ₇	7,9	12,0	3,9	41,7	1,6	14,7
E ₈	7,8	4,1	6,7	69,0	1,2	9,4
E ₉	7,9	8,3	3,2	52,1	1,3	9,4

E : Echantillon

3.1.2 Caractéristiques physicochimiques des farines infantiles

Au cours de cette étude, plusieurs farines infantiles à base de diverses céréales ont été analysées sous une seule forme de conditionnement (films plastiques fermés probablement sous vide ou manuellement).

Les résultats consignés dans le Tableau 4 indiquent que les analyses effectuées sur l'ensemble des échantillons de farines infantiles ont présenté des non conformités dues aux paramètres physicochimiques tels que l'humidité, le pH, les protéines, les glucides et les lipides.

Tableau 2: valeurs des caractéristiques physicochimiques des farines infantiles

Farines de céréales	pH	Humidité	Matière grasse	Protéines	Glucides
E ₁	4,9	3,9	7,9	0,9	89,6
E ₂	4,9	6,3	8,0	0,8	57,6
E ₃	4,9	4,0	1,8	0,1	71,2
E ₄	4,9	4,2	7,6	1,1	61,3
E ₅	4,6	8,9	7,8	0,7	63,5
E ₆	5,1	3,2	7,9	0,8	61,0
E ₇	4,7	4,7	9,4	0,3	61,0
E ₈	6,5	10,0	7,0	2,6	62,8
E ₉	7,8	4,6	12,1	1,2	77,6
E ₁₀	6,4	3,0	7,1	10,4	71,0
E ₁₁	6,4	2,1	8,8	10,6	65,7

E ₁₂	6,4	1,7	7,7	10,0	61,0
-----------------	-----	-----	-----	------	------

E : Echantillon

3.2 Discussion

3.2.1 Caractéristiques physicochimiques des farines de blé

- **pH**

Le 1/3 des farines de blé analysées n'étaient pas conformes aux spécifications (4,5-7). Le pH permet de déterminer le degré de stabilité de la farine de blé utilisée pour analyse.

- **Humidité de la farine de blé**

Selon la norme codex alimentarius relative à la farine de blé pour panification, la teneur en eau d'une farine de panification doit être inférieure ou égale 15%. Les résultats d'humidité que nous avons obtenus de l'analyse des farines de blé des différents échantillons obéissent tous à la norme indiquée. Les données issues de l'analyse sur l'humidité étaient similaires à celles de l'étude menée en Algérie en 2016 (MALKI R ET RACHID Y, 2016).

- **Taux de cendre**

La mesure du taux de cendre a un intérêt essentiellement réglementaire et permet de classer les farines selon leur degré de pureté (ICTF, 2001).

Pour les farines analysées, les taux de cendre vont de 0,6 à 6,7%. Toutes ces valeurs ne sont pas inférieures ou égales à 0,75%. Parmi les neuf échantillons seuls deux sont conformes à la norme codex alimentarius et AMANORM. Ces résultats sont probablement liés à l'origine histologique des échantillons analysés.

- **Acidité totale**

Selon la norme, l'acidité totale de la farine de blé n'excède pas 50%. A part deux échantillons (8 et 9), toutes les farines analysées obéissent à cette règle.

- **Matière grasse**

Le taux de matière grasse des farines de blé selon le standard varie de 1 à 1,5. Plus du 1/3 des échantillons de farine analysés ne répondait aux spécifications indiquées.

- **Taux de gluten**

Selon FEILLET (2000), les caractéristiques du gluten dépendent des propriétés des farines dont il est extrait. Le gluten des farines de mauvaise qualité s'hydrate plus facilement et se révèle plus visqueux et moins élastique que celui extrait à partir de farines de bonnes qualités.

Les résultats issus des différents échantillons de farine de blé possèdent une teneur en gluten entre 2,09 à 14,74. Hors, la teneur en gluten de la farine totale appartient à l'intervalle préconisé à savoir entre 8 et 12%. Seul un de nos échantillons ne répondait pas à ces taux de conformité.

3.2.2 Caractéristiques physicochimiques des farines infantiles

- **pH**

Toutes les farines infantiles analysées de ce point de vue étaient conformes aux spécifications (4,5-7) sauf celle de l'échantillon 9 dont la valeur s'élève à 7,79. Le pH est un indicateur de stabilité de la farine utilisée pour analyse.

- **Humidité**

Le taux d'humidité des échantillons de farines infantiles analysés varie de 1,7 à 10,0 %. Ce résultat est différent à ceux de KOUASSI et al. (2015) qui ont trouvé un taux d'humidité d'environ 5%. Sur les onze échantillons analysés, le taux d'humidité de deux farines est élevé et donc non conforme au regard des standards qui recommandent un taux d'humidité de (8%) pour les farines infantiles. Cela peut être relié soit à l'absence d'opérations technologiques permettant de réduire la teneur en eau des matières premières dans le procédé de fabrication des farines, soit à une prise d'eau post production des farines due aux échanges d'eau entre les farines et le milieu ambiant à travers les emballages parfois mal serties.

- **Matière grasse**

La teneur en matière grasse des farines analysées était en parti non conforme au standard qui est supérieur ou égal 7,5%. Sa carence conduirait à un manque calorifique et donc une diminution de la valeur énergétique.

- **Protéines**

Au regard des faibles teneurs observées en protéines des farines analysées soient les 3/4 (standard ≥ 8), l'on peut conclure que leurs compositions ne répondent pas aux besoins spécifiques en macronutriments des enfants. En cas d'utilisation des farines analysées, l'alimentation des enfants nourris devrait être complémenté par des denrées riches.

- **Glucides**

La norme indique que la valeur de la teneur en glucide excède 60% pour les farines infantiles. L'ensemble des échantillons répondent à ce standard excepté un seul qui est légèrement en deçà de la norme. Nous pouvons retenir que les farines infantiles sont une source alimentaire réelle en glucide.

4. Conclusion

L'objectif de ce travail était l'évaluation de la qualité physico-chimique des farines de blé et d'infantiles produites localement et analysées au Laboratoire National de la Santé de janvier à juin 2020. L'étude des paramètres physico-chimiques a révélé d'importantes variations et une non-conformité de

certaines caractéristiques aux recommandations internationales.

Les résultats des analyses effectuées sur les farines réceptionnées ont permis de tirer les conclusions suivantes:

- Pour le taux d'humidité, les résultats obtenus pour tous les échantillons de farine de blé sont conformes aux normes ;
- Le taux de cendre a été déterminant pour connaître la pureté des échantillons ;
- Pour la teneur en gluten, la presque totalité des échantillons était conforme à la norme.

Comme recommandations, il serait intéressant de :

- Faire des analyses sur les contaminants chimiques susceptibles d'être présents dans les farines de blé ainsi que les farines infantiles afin de mieux interpréter les résultats;
- Elargir ce travail sur d'autres variantes agroalimentaires largement consommées par nos populations ;
- Améliorer la technologie de fabrication des farines infantiles en vue de l'optimisation de la qualité physicochimique.

References

- [1] ADRAIN J. Composition et valeur nutritionnelle du pain .In : GUINET R., GODON B., 1996. La panification française. Paris, Lavoisier, p .p. 481-489. (collection sciences et technique agroalimentaires).
- [2] Ancellin, R. & Dumas C. (2004). La santé vient en mangeant et en bougeant. Livret d'accompagnement du "Guide nutrition des enfants et ados pour tous les parents" destiné aux professionnels de santé. Programme National Nutrition-Santé. AFSSA, 151p.
- [3] BENGRICHE, Thoraya, Tiliouine, Nasrine, Youyou, Soroya. Analyse physicochimiques et technologiques des farines issues du moulin de Baghlia 2017.
- [4] BENHANIA Z. Etude de la fabrication de la farine et contrôle de sa qualité, mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie .p ; 52. 2013.
- [5] BENSEDDIK S. Evaluation de la qualité technologique et physico-chimique des farines produites par les différentes minoteries de la Wilaya de Tlemcen.2017.
- [6] FAO (2009). La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture. <http://www.fao.org/3/i0680f/i0680f.pdf>. Février 2021. Rome, 202 p.
- [7] FEILLET P. Le grain de blé composition et utilisation. Ed. INRA. Paris, 308p, 2000.
- [8] GODON B. La panification française. Paris, (collection sciences et technique agroalimentaires). Lavoisier, p .481-489. 1996.
- [9] KOUASSI, K. A. A., ADOUKO, A. E., GNAHE, D. A., GBOGOURI, G. A., KOUAKOU, B. D. & GNAKRI, D. Comparaison des caractéristiques nutritionnelles et rhéologiques des bouillies infantiles préparées par les techniques de germination et de fermentation. International Journal Biotogtcal and Chemical Sciences, 9 (2) : 944-953. 2015.
- [10] LEVEQUE E, HAYE B, BELARBI A. L'amidon et ses dérivés, applications industrielles, Collection Bio Campus, Editions scientifiques et médicales Elsevier SAS. P 14. 2000.
- [11] MALKI R., MALKI Y., Détermination des caractéristiques physico-chimiques et technologiques des différents passages d'un moulin industriel ERIAD TADEMAIT 2016.
- [12] OMS (2000). Turning of the malnutrition: responding to the challenge of the 21st century. WHO, Geneva, Switzerland, 2000, 2 p.
- [13] ROMAIN J., THOMAS C., PIERRE S., GERARD B. Science des aliments : biochimie-procédés-produits. Lavoisier, Paris ; p 449. 2007.

Haematological and Biochemical Blood profile of African catfish *Clarias gariepinus* Brooders Anaesthetised with Aqueous solution of Clove Bud Powder

Mahamadou KELEPILY^{1*}, Oyediran Olusegun OYEBOLA², Siaka DEMBELE¹, Aboubacar KANE¹

¹IPR/IFRA de Katibougou, Mali

²University of Ibadan, Nigéria

*Corresponding author's email address: mkelepily@yahoo.com

ABSTRACT: The haematological and biochemical blood profile of *Clarias gariepinus* anaesthetised with aqueous clove bud powder were investigated. Aqueous solution of CBP treatments: 0.00 g/l (T1, control), 0.1g/l (T2), 0.2g/l (T3) and 0.3g/l (T4) were assessed. Ten random samples (5 male : 5 female) of *C. gariepinus* brooders (mean length, 53.50± 1.28 cm and mean weight, 1.86 ±0.17 kg) were immersed in T1 to T4 in a completely randomised design. During 3weeks post induction period, the fish were assessed for survival, physiological response through indices of haematology (Packed cell volume PCV; haemoglobin Hb; red blood cell RBC; platelets; mean corpuscular volume MCV; mean cell haemoglobin concentration MCHC) and biochemistry (total protein, albumin, globulin, bilirubin, glucose, aspartate aminotransferase AST, alanine transferase ALT, alanine phosphatase, sodium and potassium ions. Data were analysed for significant differences at $p < 0.05$. Haematological and biochemical parameters were not different across treatments. This treatment did not induce significant physiological changes in blood of male and female anaesthetised *C. gariepinus* brooders.

Key words: Biochemical Blood, African catfish, Clove Bud Powder

1. Introduction

Fish and fish products also contribute to more than 16 percent of global population's average intake of animal protein and 6.5 percent of all protein consumed (FAO, 2014). Fish provide 3 million people with at least 20 percent of their intake of animal protein. Fish has a highly desirable nutrients profile as it is a good source of quality animal protein, essential fatty acids, vitamins and minerals (Olaifa, 2015).

According to FAO (2014) world aquaculture production continues to grow, albeit at a slowing rate and attained another all-time high of 90.4 million tonnes in 2012.

According to Adewumi and Olaleye, (2011), the African catfish, *Clarias gariepinus* or *lazera*, are the most resistant, widely accepted and highly valued fish that are cultivated in Nigeria. However, fish production through aquaculture is challenged by myriad of issues.

Adewumi and Olaleye (2011) found that a number of problems confront the production of catfish among these are; poor management skills, inadequate supply of good quality seed, lack of capital, high cost of feed, faulty data collection, lack of environmental impact consideration and marketing of products.

Stress is one of the main factors impacting on growth performance, physiological functions and health of

fish. Sources of stress in fish production include handling, transportation, weighing, blood taken, egg stripping, milt collection and other management practices. Handling of active fish during spawning, stripping and milt collection during seed production could impact negatively on health and survival of broodstock (Kreiberg, 2000). There is the need to inactivate fish brooders by anaesthetizing in order to reduce induced stress during the spawning exercise. The public health implication of the fish when fed to human is also a subject of debate, because health status of the fish may directly or indirectly affect the consumer (Adeshina *et al.*, 2016).

The use of anaesthesia to immobilize fish will decrease the stress, allowing easy handling and guaranteeing the health of the fish. (Diyaware *et al.*, 2015).

The growing concern about safety of foods has recently led to the development of natural compounds with no residual effect on tissue of an animal (Nevas *et al.*, 2004).

Aromatic plants containing phenolic compounds has been reported to have anti-stress ability and are often generally recognized as safe (Ponce *et al.*, 2003; Bayoub *et al.*, 2010). *Eugenia caryophyllata* commonly known as "clove" is a member of the Myrtaceae Family. This extract of this plant had been used to reduced stress in reared meagre in Portugal (Barata, 2016). It is a perennial tree found ecologically in the tropics and well distributed in the

north central region of Nigeria (Omotayo, *et al.*, 2013).

The use of essential oil such as the clove oil in fish spawning is important but the process of oil extraction may be cumbersome for farmers while the powdery form of the seed may be more easily processed and utilised by farmers.

Despite the huge activities on *Clarias gariepinus* the information on use of naturally derived anaesthetics on *C. gariepinus* brooders is scarce; hence the need for this study

2. Objectives

2.1 general objective

To investigate the haematological and biochemical blood profile of *Clarias gariepinus* anaesthetised with aqueous solution of clove bud powder

2.2 SPECIFIC OBJECTIVES

-determine the haematological parameters of *Clarias gariepinus* anaesthetised with CBP,

-determine biochemical parameters of *Clarias gariepinus* anaesthetised with CBP,

-assess the survival rate of *Clarias gariepinus* anaesthetised with CBP.

III. Materials and Methods

3.1. Experimental Site

The experimental site for this study is the Department of Aquaculture and Fisheries Management, University of Ibadan, Nigeria, West Africa. The experimental site is located at Ibadan City, Oyo State, Nigeria. The city is on coordinate of 7.401962 latitude and 3.917313 longitude.

3.2 Preparation of Clove bud Powder

Clove bud powder for the experiment was self-prepared. Dried clove seed was procured from commercial herb seller in Ibadan City and prepared to powder by simple milling process. Powdered samples were submitted to the Department of Chemistry, University of Ibadan for clove oil extraction and analysis of chemical composition following standard laboratory procedures. Clove oil was extracted using the hydro-distillation method. Extraction of clove oil despite the use of powder was deemed necessary as this will be useful for estimating unit clove oil content in unit of the clove powder utilised in each treatment.

3.3 Experimental Fish

Forty 1.2 - 2.4 kg *Clarias gariepinus* broodstock (male and female) were procured from private fish farms in Ibadan City and preconditioned for 2 weeks in concrete fish tank in the Department of Aquaculture and Fisheries Management University of Ibadan prior to their utilisation for the experiment.

The fish were fed with commercial floating fish feed (Skretting) of 8.0 mm diameter, containing 43% of crude protein fed at 1% of bodyweight/day during the conditioning periods and after the experimentation. Water quality in the fish holding facilities were monitored following Diyaware *et al.*, (1985). Temperature and pH were determined using electronic pH meter pen type. The Dissolved oxygen was measured using the water test kit by through winkler's method.

3.4 Experimental Design and Procedure for Assessment Dosage of Clove bud Powder

In a completely randomised design, the preconditioned experimental fish were divided into four groups of ten fishes (5 males and 5 females) according to the concentration of clove seed powder. Four treatments 0, I, II and III, containing 0.0, 2.0, 4.0 g and 6.0 g clove seed powder (indicating 0.0g/liter, 0.1g/liter, 0.2g/litre, 0.3g/liter of powder in water in treatments I, I, II and IV respectively) were produced and allowed to stay for 5 minutes to allow dissolution.

3.5 Blood Sample Collection and Evaluation of Effects of Dosages of Clove Seed Powder on Physiology and Survival of the Anaesthetised Broodstock

Data collection on survival of the brooders was carried out on weekly basis during six weeks of post anaesthesia induction period. Water quality was monitored during this period. Blood hematology and biochemical indices were utilised to infer the effect of clove powder treatment on the welfare of anaesthetised brooders. Blood sample were collected from each of the treatment and sent to the Haematology Laboratory of the Faculty of Veterinary Medicine, University of Ibadan, for haematology and biochemical analysis. Blood samples were collected from the caudal peduncle through the use of needle and syringe and transferred into heparinised vials. Collected samples were well labelled and transferred in side flask containing ice crystals. Samples were collected few time after the used of clove seed powder usage, and at weekly basis during 3 weeks (21 days) period.

3.6. Assessment of Haematology and Biochemical Indices of Anaesthetised Fish as Physiological Indices for Welfare

The blood sample at the laboratory are subjected to haematological and biochemical analysis by assessing some parameters. The haematological indicators determined for each blood sample are: Packed cell volume (PCV), percentage Haemoglobin (Hb), Red blood cell (RBC), White blood cell (WBC), Platelets or thrombocytes, Lymphocytes, Neutrophils, Monocytes (MON), Eosinophil (EOS), Mean corpuscular volume (MCV), Mean corpuscular haemoglobin (MCH), and the Mean corpuscular haemoglobin

concentration. The assessed biochemical parameters are: Total protein, Albumin, Bilirubin, Globulin, Aspartate aminotransferase (AST), Alanine aminotransferase (ALT), Glucose, Alkaline phosphatase (ALP), Sodium (Na⁺), and Potassium (K⁺).

3.7 Haematological Parameters

Red Blood Cell (RBC) was estimated by diluting blood at 1: 200 (Blood with anti-coagulant), mix properly, expel few drops and introduce into the improved counting chamber and Count using x 40 obj in RBC counting area. Number of cells counted x depth x dilution x Area e.g n x 10 x 200 x 5 per cubic millimetre or in SI n x 10.000 x 10¹² was utilised to estimate the values.

White Blood Cell (WBC) was estimated using diluting fluid 1% Acetic Acid tinted with Dye and the Avian WBC diluting fluid (Direct): Rees 1 vkr diluting fluid. Blood was diluted at 1: 20 (blood with anti-coagulant), mix properly and expel few drops, introduce into counting chamber and Count with x 40 obj in WBC (counting area). Average number of cells counted per square mm x depth x dilution was estimated.

Haemoglobin was determined by the cyanme haemoglobin method using the Neutral Drabkin's solution (pH 7.0). 1.250 dilution of blood with Drabkin solution was made into a test tube. 1.250 dilution of standard haemoglobin (commercial prepared) was made. 5 ml Drabkin's solution was introduced into a test tube as a standard and allowed to stand for 3-5 min at room temperature at 540 mm.(or green filter Iford 625) and read in a colorimeter on spectrophotometer. The OD of the test sample and that of the standard was compared using the formula:

$$\frac{\text{O.D TEST} \times \text{CONC. of standard}}{\text{O.D. Standard}} = \text{n.mg/L}$$

Mean Cell Haemoglobin Concentration (MCHC) This refers to the percentage haemoglobin in 1 dl of packed RBC divide by Hb content in gm per dl by the PCV, expressed in percentage.

Mean Cell Haemoglobin (MCH). This express the average Hb content in (Pg) of a single RBC divide the Hb content by the whole RBC.

Mean Cell Volume (MCV). The average volume of single cell express in Femto Lities (H) divide the PCV by the RBC x 1000 (Source: Haematology standard operating standard procedures, 2016).

3.8. Biochemical Parameters

Total Protein

Total protein was determined through the Biuret method. Polypeptide containing at least two peptide bonds reacts with biuret reagent. In alkaline solution, cupric ions form a violet colour complex with protein nitrogen. Absorbance measured at 520-560 nm is proportional to the total protein concentration in the sample. The assay procedure was carried out at 540 nm wavelength, optical path 1cm, 25° C temperature, and reading against reagent was blank.

$$\text{Estimated Total protein concentration} = \frac{A_{\text{sample}}}{A_{\text{calibrator}}} \times 70. \text{ g/L}$$

A_{sample}- absorbance of the sample

A_{calibrator}- Total protein concentration in the calibrator

Unit conversion: 1g/l = 0.1g/dl (Vital Diagnostics SPB Ltd, 2014)

Albumin

Albumin estimation utilised colorimetric method with bromocresol green following the principle that albumin concentration is proportional to the absorbance increase at 628 nm to the albumin bromocresol green complex formation.

Bilirubin

Colorimetric Method was utilised for estimation of bilirubin content. This was based on the description of Jendrassik and Grof (1938). Direct (conjugated) bilirubin react with diazotised sulphanilic acid in alkaline medium to form a blue coloured complex. Total bilirubin is determined in the presence of caffeine, which releases albumin bound bilirubin, by the reaction with diazotised sulphanilic acid. Blood samples, Sulphanilic acid, hydrochloric acid, sodium nitrite, caffeine, sodium hydroxide were utilised following standard procedure for determination of bilirubin. Reading was taken at 578nm for total bilirubin, cuvette 1cm light path, 25 ° C temperature, and measurement taken against blank sample. Following the Randox Laboratories, (2007), total bilirubin was calculated as

$$\text{Total Bilirubin } (\mu\text{mol/l}) = 185 \times A_{\text{TB}} (578\text{nm})$$

Where, A_{TB} is the absorbance of the sample against the sample blank.

Globulin

The amount of globulin was obtained by subtracting the amount of albumin from the total protein

Aspartate aminotransferase (AST)

AST in serum samples is measured by monitoring the concentration of oxaloacetate hydrazone formed

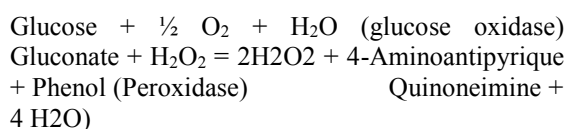
with 2, 4- dinitrophenylhydrazine following the principle: α - oxoglutarate + L-aspartate = L- glutamate + Oxaloacetate. Procedure was carried out at 546 nm wavelength, 1cm light path cuvette, 37° C incubation temperature following.

Alanine aminotransferase (ALT)

Alanine aminotransferase is measured by monitoring the concentration of pyruvate hydrazine formed with 2, 4 dinitrophenylhydrazine, following the principle α -oxoglutarate + L- alanine (GPT) L- glutamate+ pyruvate. The procedure is similar to that of AST

Glucose

Glucose in the sample was measured by spectrophotometry.



Glucose content estimation is based on the formular $A \text{ sample} / A \text{ standard} \times C \text{ standard} = C \text{ sample}$ (Biosystems S.A, 2015).

Alkaline phosphatase (ALP)

Utilised the Colorimetric Method following the principle:

p-nitrophenylphosphate + H₂O (ALP) Phosphate + n-nitrophenol The reagent composition for the test include; Diethanolamine buffer (1mol/l,pH9.8), MgCl₂ (0.5mmol/l), p-nitrophenylphosphate (10 mmol/l) substrate. ALP activity was calculated using the formula:

$U/L = 2760 \times \Delta A_{405} \text{ nm/min}$ (Randox Laboratories, 2007).

Sodium (Na⁺)

Sodium reagent set utilised colorimetric method. Sodium is precipitated as the triple salt, sodium magnesium uranyl acetate, with the excess uranium then being reacted with ferrocyanide, producing a chromophore whose absorbance varies inversely as the concentration of sodium in the test specimen. 1.0 ml of Filtrate reagent (sodium reagent) was added to 50 μ l of sample to all tubes and while distilled water was added to the blank. All tubes were vigorously shaken and mix continuously for 3 minutes. Then centrifuged at high speed (1.500 G) for 10 minutes. Supernatant fluid was subjected to colour development by pipette of 1.0 ml Acid reagent (acetic acid) to tube, add 50 μ l of supernatant to respective tubes and mix, add 50 μ l of colour reagent and mix, zero spectrophotometer with distilled water at 550 nm. Then read and record absorbance. Calculation followed Teco Diagnostics, (2004): $\text{Abs. of Blank} - \text{Abs. of S} \text{ divided by Abs. of blank-}$

$\text{Abs. of STD} \times \text{Conc. of STD (mEq/L)} = \text{Conc. of S (mEq/L)}$

Where

Abs. = Absorbance
S = Sample
STD = Standard

Potassium (K⁺)

The amount of potassium is determined by using sodium tetraphenylboron in a specifically prepared mixture to produce a colloidal suspension. The turbidity of which is proportional to potassium concentration in the range of 2 - 7 mEq/L. The procedure is similar to that of Sodium. However, 1.0 ml of potassium reagent pipette was utilised. 0.01 ml (10 μ l) of sample was added, mixed and allowed to settle at room temperature for 3 minutes. After 3 minutes, the wavelength of the spectrophotometer was set to 500 nm, zero spectrophotometer with reagent blank. Then read and record the absorbance. Calculation followed Teco Diagnostics, (2004): $\text{Abs. of unknown} / \text{Abs. of STD} \times \text{Conc. Of STD (mEq/L)} = \text{Potassium conc. mEq/L}$

Where

Abs. = Absorbance
STD = Standard

3.9. Determination of Percentage Survival of the Anaesthetised Specimens

Mortality in each treatment was monitored during 12 days period and percentage survival determined as: number of survivor divided by number of specimen at initiation of experiment multiplied by 100 percent.

3.10 Statistical Analysis

Data were presented using descriptive statistical tools such as mean and percentages. Data across the treatments were tested for significant difference at $p < 0.05$ using analysis of variance (ANOVA) on SPSS Version 22.0. These was carried out for the data on the haematological and biochemical parameters,

4. Results

4.1. Haematology Parameters of unsexed brooders

The table 1 shows the haematological parameters of unsex *C. gariepinus* specimens' after recovery from anaesthetised stages of clove bud powder solution The haematological parameters of blood serum were not significantly different from T1 to T4. The PCV (%) ranged from 28.33 \pm 2.33 (T4) to 31.83 \pm 1.01 (T1); Hb (gm %) 9.45 \pm 0.98 (T4) to 11.61 \pm 0.69 (T1); RBC ($\times 10^{12/l}$) 3.34 \pm 1.40 (T4) to 4.03 \pm 0.64 (T1), WBC ($\times 10^9/l$), 6.12 \pm 0.63 (T4) to 8.01 \pm 0.57 (T1), Platelets ($\times 10^9/l$), 10.23 \pm 0.15 (T4) to 11.20 \pm 0.37 (T1), MCV (FL), was 78.67 \pm 5.46 (T4) to 92.67 \pm 3.75 (T1). The MCH (%) ranged from 27.83 \pm 2.34 (T4) to 30.83 \pm 3.22 (T1), MCHC (%),

29.50±3.08 (T1). to 33.50±0.81 (T4), Lymphocytes (%), 37.50±2.77 (T1) to 42.67±0.76 (T4), Monocytes (%) 1.17±0.67 (T1, T2, T3) to 1.33±0.21

(T4), Eosinophil values ranged from 2.00±0.26 (T4) to 3.33±0.61 (T1) and Neutrophils (%) 56.33±2.16 (T4) to 60.00±1.67 (T1).

Table 1: Haematological parameters of Blood samples of clove seed powder anaesthetised unsex *C. gariepinus* at week 0 (immediately after recovery).

Parameters	T1	T2	T3	T4
PCV	31.83±1.01	31.83±0.87	29.50±1.45	28.33±2.33
Hb	11.61±0.69	10.62±0.51	9.77±0.39	9.45±0.98
RBC	4.03±0.64	3.90±0.33	3.80±0.17	3.34±1.40
WBC	8.01±0.57	7.92±0.65	6.97±1.14	6.12±0.63
Platelets	11.20±0.37	10.46±0.25	10.33±0.21	10.23±0.15
MCV	92.67±9.75	90.33±2.85	90.33±1.91	78.67±5.46
MCH	30.83±3.22	29.00±1.06	28.50±1.52	27.83±2.34
MCHC	29.50±3.08	32.67±1.17	33.33±0.56	33.50±0.81
Lymphocytes	37.50±2.77	38.00±1.91	41.67±1.74	42.67±0.76
Monocytes	1.17±0.67	1.17±0.17	1.17±0.17	1.33±0.21
Eosinophil	3.33±0.61	3.17±0.31	2.00±0.52	2.00±0.26
Neutrophils	60.00±1.67	58.67±2.56	56.50±0.67	56.33±2.16

4.2. Biochemical Parameters of unsexed brooders

The table 2 shows the biochemistry parameters of unsex *C. gariepinus* specimens treated with different concentration of CBP. The total protein values ranged from 10.58±0.16 (T1) to 11.11±0.47 (T4), Albumin ranged from 3.47±0.25 (T2) to 3.90±0.55 (T3), Globulin ranged from 7.95±0.25 (T1) to 9.13±0.43 (T3), Bilirubin ranged from 11.02±1.10 (T1) to 12.15±1.16 (T3), AST ranged from

63.17±1.31 (T2) to 67.67±0.63 (T4), ALP ranged from, 44.50±1.06 (T1) to 48.33±0.95 (T2), ALT values ranged from 47.83±1.05 (T1) to 50.87±1.21 (T4), Sodium ranged from 67.25±1.51 (T1) to 70.47±2.25 (T4), Potassium ranged from 60.47±2.70 (T1) to 64.10±4.42 (T4), glucose ranged from 55.17±0.75 (T1) to 57.89±2.04 (T4).

Parameters	T1	T2	T3	T4
Total Protein	10.58±0.16	10.92±0.26	10.98±0.16	11.11±0.22
Albumin	3.49±0.14	3.47±0.25	3.90±0.55	3.89±0.51
Globulin	7.95±0.14	8.49±0.22	9.13±0.43	8.32±0.11
Bilirubin	11.02±1.10	11.52±1.31	12.15±1.16	11.95±0.75
AST	64.84±1.17	63.17±1.31	65.17±1.02	67.67±0.63
ALP	44.50±1.06	48.33±0.95	44.80±1.08	46.30±1.80
ALT	47.83±1.05	49.20±1.30	50.56±2.35	50.87±1.21
Sodium	67.25±1.51	67.78±1.78	70.17±2.36	70.47±2.25
Potassium	60.47±2.70	62.83±2.09	63.50±3.75	64.10±4.42
Glucose	55.17±0.75	57.67±4.81	57.00±0.86	57.89±2.04

Survival Rate of anaesthetised Brooders of *Clarias gariepinus*

Treatments	Survival rate (%)
T1	100.00±0.00
T2	100.00±0.00
T3	100.00±0.00
T4	100.00±0.00

The results of this table shows that are is death of brooders caused by the use of clove bud powder as anaesthesia.

5. Discussion

5.1. Haematological Parameters of Unsex brooders

In the Table 1, the haematological parameters of the unsex fish of the treatments (T1, T2, T3, T4) are not significantly ($p>0.05$) different, based on the values of the blood serum parameters. This results shows that the clove bud powder did not affect the haematological parameters of blood serum in unsex *C. gariepinus*.

In this study the values of blood paramaters like PCV, HB, WBC are slightly higher than their get by Adedeji *et al.*, 2011. The values of MCV, MCH lymphocytes are low than one noted by Adedeji.

5.2. Biochemistry Parameters of unsex brooders

The table 2 contain the blood serum biochemical parameters. The values of Total Protein, Albumin, Globulin, Bilirubin, AST, ALP, ALT, Sodium, Potassium, Glucose from the treatments (T1, T2, T3, T4) are not significantly ($p>0.05$) different between them and are not also significantly different from male to female. This results shows that the clove bud did have any affect on blood serum parameters. A slightly increasing but not significant was observed between the values across male and female.

The results of biochemistry parameters did not conform the ones get by Abalaka (2013) in the study of: Evaluation of the Haematology and Biochemistry of *Clarias gariepinus* as Biomakers of Environmental Pollution in Tiga dam, Nigeria.

5.3. Survival rate of unsex brooders

The tables 3 shows that the survival rate using aqueous solution of CBP in brooders of *Clarias gariepinus* is 100 % in all treatments. The survival rate in this study is different than the results noted by Diyaware *et al.*, 2015 in: Anaesthetic Effect of

Clove (*Eugenia Anomaticum*) seed Extract on *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) broodstock..

6. Conclusion

The blood parameters are great tools for assessing the suitability of of clove bud powder in

anaesthetising in *Clarias gariepinus* brooders and its effects on survival and welfare of anaesthetised fish with respect to haematological and biochemistry of experimental fish. The results of experience show that the clove bud powder do not have any negative effects on the welfare of *Clarias gariepinus* brooders, hence the study should be conducted in the effects of clove bud powder in reproductive performance of *Clarias gariepinus brooders*

References

- [1] Adam, H.M. and Agab H. 2010. Haematological and biochemistry indices of *Clarias gariepinus* collected from River Nile. College of veterinary Medicine and animals production, Sudan University of science and Technology. 83.1-2:89-94.
- [2] Adams, S.M. 1990. Status and use of bioindicators for evaluating effects of chronic stress on fish. Amer. Fish. Soc. Sym. 8: 1-8.
- [3] Adedeji, O.B and Adebile, A.F. 2011. Comparative Haematological Parameters of Bagrid catfish (*Chrysichthys nigrodigitatus*) and the African catfish (*Clarias gariepinus*) from Asejire Dam in Southwestern Nigeria. Jounal of applied sciences research 7.7:1042-1046.
- [4] Adeshina, I., jenyo-oni A. and Emikpe B.O. 2016. Use of *Eugenia Caryopyllata* oil as Anaesthetic in farm Reared African catfish *Clarias gariepinus* Juveniles. Egypt. J. Exp. Biol (Zool.) 12.1:71-76.
- [5] Adewumi, A.A., and Olaleye, V.F. 2011. Catfish Culture in Nigeria: Progress, prospects and problems. *African journal of Agricultural Research*, vol.6.6, pp.1281-1285.
- [6] Bayoub, K, Baibai T, Mountassif, D, Retmane, A, Soukri A. 2010. Antibacterial activities of the crude ethanol extracts of medicinal plants against *Listeria monocytogenes* and some other pathogenic strains. Afr. J. Biotechnol., 9.27: 4251-4258.
- [7] Barata, M, Sores F, Aragao C, Almeida AC, Pousao-Ferreira P, Ribeiro L. 2016. Efficiency of 2-phenoxyethanol and clove oil for reducing handling stress in reared meager, *Argyrosomus regius* (Pisces: Sciaenidae). J. World Aquac. Soc. 47(1): 82-92.
- [8] Diyaware, M.Y. Bokko, B.P. and Suleiman S.B. 2015. Anaesthetic Effect of Clove (*Eugenia Anomaticum*) seed Extract on *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) broodstock. International Journal of fisheries and Aquaculture sciences 4.2: 30-34.

[9] FAO, 2014. The State of Food and Agriculture. Innovation formulation. Rome.

[10] Flora, E.O. 2015. Food ssecurity: The Perspective of Aquaculture and Fisheries.Faculty lecture.Faculty of agriculture and forestry.Dept.of Aquaculture and Fisheries management.

[11] Kreiberg, H. 2000. Stress anesthetisia. In: "The laboratory fish. Ostr ader GK. Ed. Academic Press, Baltimore, Maryland, USA, pp. 509.

[12] Nevas, M, Korhonen, AR, Lindtröm, M, Turkki, P, Korkeala H. 2004. Antibacterial efficiency of Finnish spice essential oils against pathogenic and spoilage bacteria. J. Food Prot., 67.1: 199-202.

[13] Omotayo, OA, Adepoju, OT, Keshinro, OO. 2013. Evaluation of micronutrient potentials of seven commonly consumed indigenous spices from Nigeria. Am. J. Food. Nutr., 3.3: 122-126.

Preliminary Results of Larvicidal Activity and Phylogenetic Analysis of Two Strains of Bacteria Isolated in the Demba Tiarki Tara Pond in Mali

Mamadou Wéléba Bagayoko^{1,2}, Djènèba Ouattara², Ibrahim Mallé², Doulaye Dembélé³, Amadou Hamadoun Babana^{1,2}

¹Faculty of Sciences and Techniques/University of Sciences and Techniques of Bamako

²Research Laboratory in Microbiology and Microbial Biotechnology

³University of Strasbourg, CNRS, France

Email : bamawe@yahoo.com

Summary: Faced with the growing resistance of mosquitoes to conventional chemical insecticides, which are often very toxic to humans, it becomes imperative to find alternatives to organic products in order to reduce their nuisance. Actinomycetal bacteria and Bacillus are an opportunity because they have a great capacity for the production of active biological substances. The objective of this study was to isolate and verify the bacteria that produce larvicidal bioactive substances. Two bacteria were isolated from the soil of the DTT pond, tested the culture products on mosquito larvae and analyzed the genetic profile of the 16S rRNA gene. In culture, isolate S226 produced a larvicidal effect on *Anopheles gambiae Kisumu* of 8% and 14% death in the first hour, 24% and 32% at 48 hours with respective concentrations of 1.5% and 2.5 %. No adult form was visited within 48 hours of culture. As with isolate S296, larvicidal activity was observed at higher concentrations of 44, 46 and 42% for dilutions of 10, 20 and 25%, respectively. Phylogenetic analysis of the 16S rRNA gene from the two bacterial isolates shows that they are apparent to Bacillus and are unknown to the GenBank database. The S226 isolate is 100% similar and 97% identical to *Pseudomonas hibiscicola*, which of S296 is 100% similar and 95.98% identical to the genus *Bacillus amyloliquefaciens*. In conclusion, this pond contains microorganisms capable of producing bioactive substances on mosquito larvae. Further studies should be considered in order to better elucidate the active substances.

Keywords: Bacteria, Phylogeny, Bioactive substances, Larvicidal, *Anopheles gambiae kisumu*.

Introduction

Insect resistance to chemical insecticides remains a problem in the tropics and subtropics. In the fight against malaria, the control of the vector plays a great importance in the control or even the eradication of the disease. Since 1995, biological control has been introduced in some countries using bacteria such as *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti), [1]. Other bacteria such as the genus *Streptomyces* [2, 3] and *Bacillus* have the ability to produce a variety of bioactive substances used as antibiotics, insecticides, antitumors etc. In 2017, Bt strains were isolated and characterized in the Demba Tiarki Tara (DTT) pond, with potential larvicidal power [4]. Thus, strains of bacteria were isolated from the pool of DTT, to test their antimicrobial [5] and larvicidal power. The objective of this study is to identify other bacteria of larvicidal interest that can be used for the control of malaria vectors.

Material and Methods

Larvicidal Tests Protocol

The larvicidal tests were carried out on larvae of *Anopheles gambiae kisumu* reared in LaboREM-Biotech according to the WHO protocol [6]. In pots containing 200 ml of water are added 25 immature larvae at stage 3 or 4 of *Anopheles gambiae kisumu*. The water is first left to stand in the open for 10

minutes allowing the chlorine to evaporate. The bacteria were cultured in Bennett liquid medium for 10 days, then the culture is centrifuged to collect the supernatant liquid believed to contain bioactive substances [7]. Different volumes 0.5ml, 1ml, 2ml, 3ml, and 5ml of bacteria culture products are put in these test jars in order to have different concentration series. Each test concentration is duplicated. The larvae were thus observed for 48 hours while noting the dead, the nymphs and the adults at the end of the test. During the first 24 hours no food in the culture medium of the larvae. The averages of the observations were made by concentration, and as a function of time 1 hour, 2 hours, 3 hours, 24 hours and 48 hours. For each test there was a control jar in which the biological test product was not added. Only mortality values between 10 and 90% should be considered important.

Amplification of the 16S rRNA gene

The DNA of the young shoots of bacteria was extracted by the Kit Promega protocol. The gene encoding 16S ribosomal RNA has been used to study genetic diversity [8]. The following primers (primers designed by the firm Eurofins) were used for the amplification of the fragment of the 16S rRNA gene: Gone primer. 5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3 'Return

primer. 5'-AAGGAGGTGATCCAGCC-3' with a TECHNE - PRIME type thermal cycler. The amplification program was as follows: Initial Denaturation 94 ° C in 5mn, 35 cycles of Denaturation 94 ° C in 1mn, Hybridization 55 ° C in 45s, Elongation 72 ° C in 1mn 45s; then a final Elongation 72 ° C in 10 minutes and at the end the amplifia can be stored at 4 ° C in the thermal cycler. After electrophoresis, the gel is viewed under Ultra-Violet (UV) rays and then photographed with the E-BoX camera and the band size determined with the E-Cap software.

Phylogenic analysis of DNA sequences

The sequences were supplied in the form of an ABI (Applied Biosystems) chromatogram sheet by the Company Inqaba biotec™ (http://www.inqababiotec.co.za) in South Africa. The results of the sequencing of the 16S DNA fragments were processed by MEGA-X software

(Molecular Evolutionary Genetics Analysis), the percentage of GC bonds within the sequences, or Chargaff constant was carried out by the ENDMEMO software (http://www.endmemo.com/bio/gc.php). Phylogenetic analysis was performed on the NCBI site using Blast (Basic Local Alignment Search Tool) and the dendrogram performed allowed to show the taxonomic position of each isolate in the GenBank database.

Results

Larvicidal tests

The larvae of *Anopheles gambiae kisumu* were chosen for two reasons: a) it is the most widespread species in Africa south of the Sahara; b) the high sensitivity of kisumu to insecticides. Bennett's medium was chosen for the test for the production of antibacterial substances because of its high carbon content.

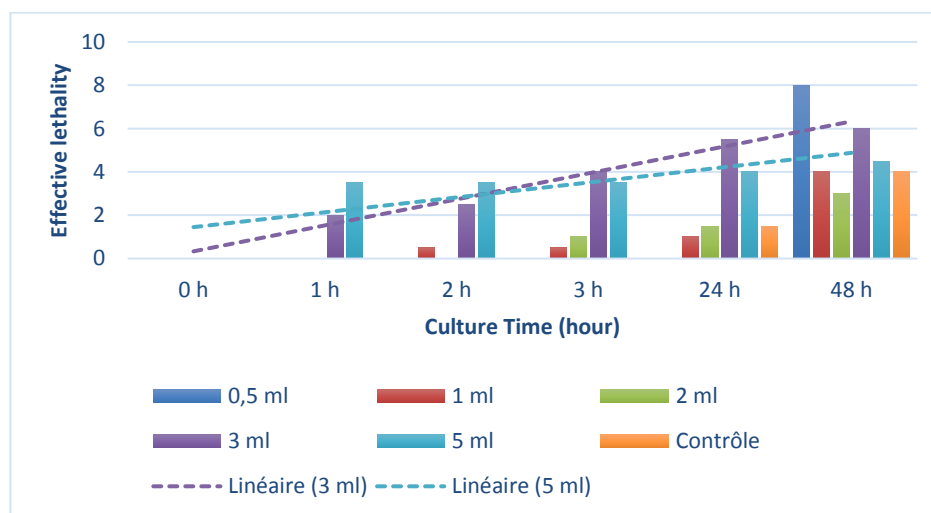


Figure 1: Lethality of *Anopheles gambiae kisumu* larvae in contact with extract of culture of isolate S226 in liquid medium Bennett

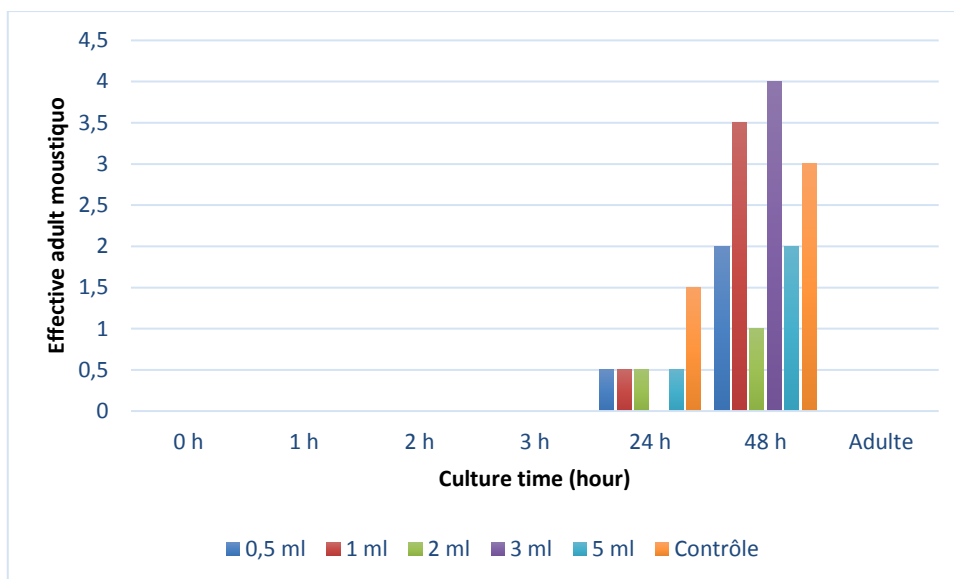


Figure 2: Development of *Anopheles gambiae kisumu* larvae in contact with extract of culture of isolate S226 in Bennett liquid medium

The test with isolate S226 (Figure 1) showed interesting larvicidal properties. From the first hour, larvicidal effects are observed with dilutions of 1.5% and 2.5% (ie 3ml and 5ml in 200 ml of water). This larvicidal effect increased over time up to 48 hours with 32% deaths for the 2.5% dilution and 24% for the 1.5% dilution. Unlike the S296 isolate, that of S226, showed no adult mosquito form at 48 hours and even after (figure 2), but rather nymph forms, the highest rate of which was observed by the 1.5% dilution. % (3ml / 200ml). To this end, the observation was that the lethality observed in mosquito larvae greatly exceeds the rate recommended by the WHO (10% of 25 larvae or 2.5 larvae) to conclude a larvicidal effect. Despite the melanin-producing capacity as well as the antimicrobial power of isolate S296 [5], its larvicidal effect is more marked than with high concentrations (Figure 3).

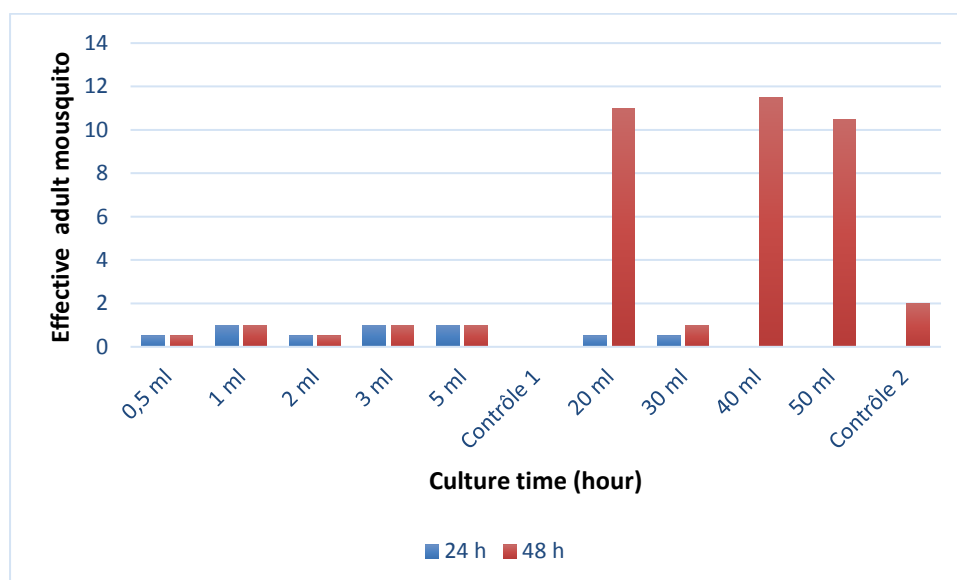


Figure 3: Comparison of the development of *Anopheles gambiae kisumu* larvae in contact with different concentrations of culture extract of isolate S296 in Bennett liquid medium

Molecular analysis

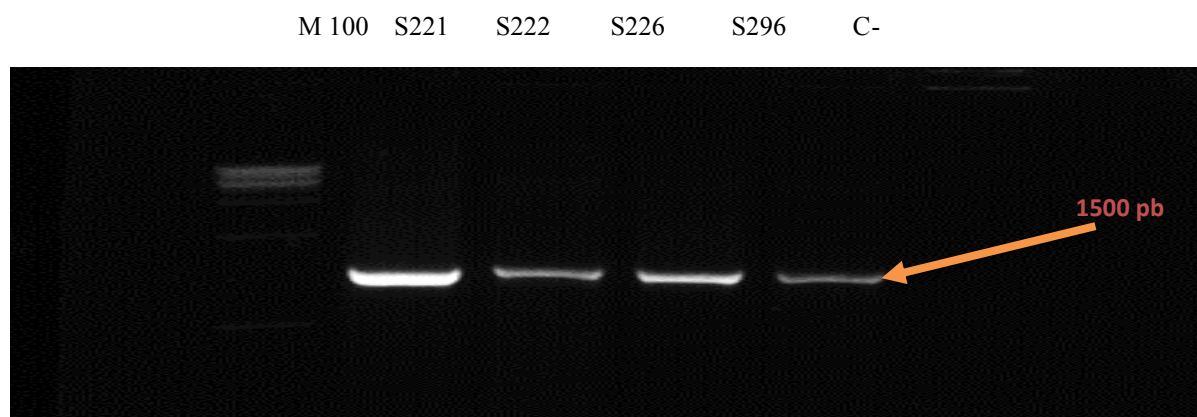


Figure 4: Photo electrophoresis of the amplification of the 16S gene from the selected isolates. The DNAs of the isolates were amplified by a pair of specific primers revealing bands of 1500 base pairs each (Figure 4)

Isolate S226. Format Fasta, length 1061, **Chargaff coefficient** GC = 53, 53%.

>S226 IBWA-FD1-R F06 18

```

AGCGCCCTCCCGAAGGTTAAGCTACCTGCTTCTGGTGCAACAACTCCCATGGTGTGACGGGCGGT
GTGTACAAGGCCCGGGAACGTATTCACCGCAGCAATGCTGATCTGCGATTACTAGCGATTCCGACT
TCATGGAGTCGAGTTGCAGACTCCAATCCGGACTGAGATAGGGTTTCTGGGATTGGCTTACCGTCC
CCGGCTTGCAGCCCTCTGTCCCTACCATTTGTAGTACGTGTGTAGCCCTGGCCGTAAGGGCCATGAT
GACTTGACGTCATCCCCACCTTCCTCCGGTTTGTACCGGCGGTCTCCTTAGAGTTCCCACCATTAC
GTGCTGGCAACTAAGGACAAGGGTTGCGCTCGTTGCGGGACTTAACCCAACATCTCACGACACGA
GCTGACGACAGCCATGCAGCACCTGTGTTTCGAGTTCCCGAAGGCACCAATCCATCTCTGGAAAGTT
CTCGACATGTCAAGGCCAGGTAAGGTTCTTCGCGTTGCATCGAATTAACCACATACTCCACCGCT
TGTGCGGGCCCCCGTCAATTCCTTTGAGTTTCAGTCTTGCGACCGTACTCCCCAGGCGGCGAACTT
AACGCGTTAGCTTCGATACTGCGTGCCAAATTGCACCCAACATCCAGTTCGCATCGTTTAGGGCGT
GGACTACCAGGGTATCTAATCCTGTTTGCTCCCCACGCTTTCGTGCCTCAGTGTCAATGTTGGTCCA
GGTAGCTGCCTTCGCCATGGATGTTCTCCTGATCTCTACGCATTCACTGCTACACCAGGAATTCC
GCTACCTCTACCACATTTCTAGTCGCCCAGTATCCACTGCAGTTCACAGGTTGAGCCCAGGGCTTTC
ACAACGGACTTAAACSGACCAYCTACGCMTCGCTTTACGCCAGTAATTTCCGAGTAACGCTTGCA
CCCTTTCGTATTACCGCGGCTGSYTGCCACGAGTAARCCGGTGCTTATTCTTTGGGGTACCGTCATC
CCAACCAGGTATTRGCGGCCTGGAARTTCTCTTTCCAACAAAGGCCCTTAMAACCGGAAGGCYTTTT
C

```

Blast of the 16S DNA sequence of isolate S226, UB20VEF001R, Application: 152169, dated 09/22/2018; is 100% similar with 5 strains including *Pseudomonas hibiscicola* strain ATCC 19867 16S ribosomal RNA (identity score 97%), *Stenotrophomonas maltophilia* strain IAM 12423 16S ribosomal RNA (Identity score 96.91%), then a score of identity of 96.81 for *Pseudomonas geniculata* strain ATCC 19374 16S ribosomal RNA gene, *Stenotrophomonas maltophilia* strain NBRC 14161 16S ribosomal RNA gene and *Stenotrophomonas pavanii* strain LMG 25348 16S ribosomal RNA gene. The dendrogram shows that the S226 isolate is unknown to the GenBank base (Figure 5).

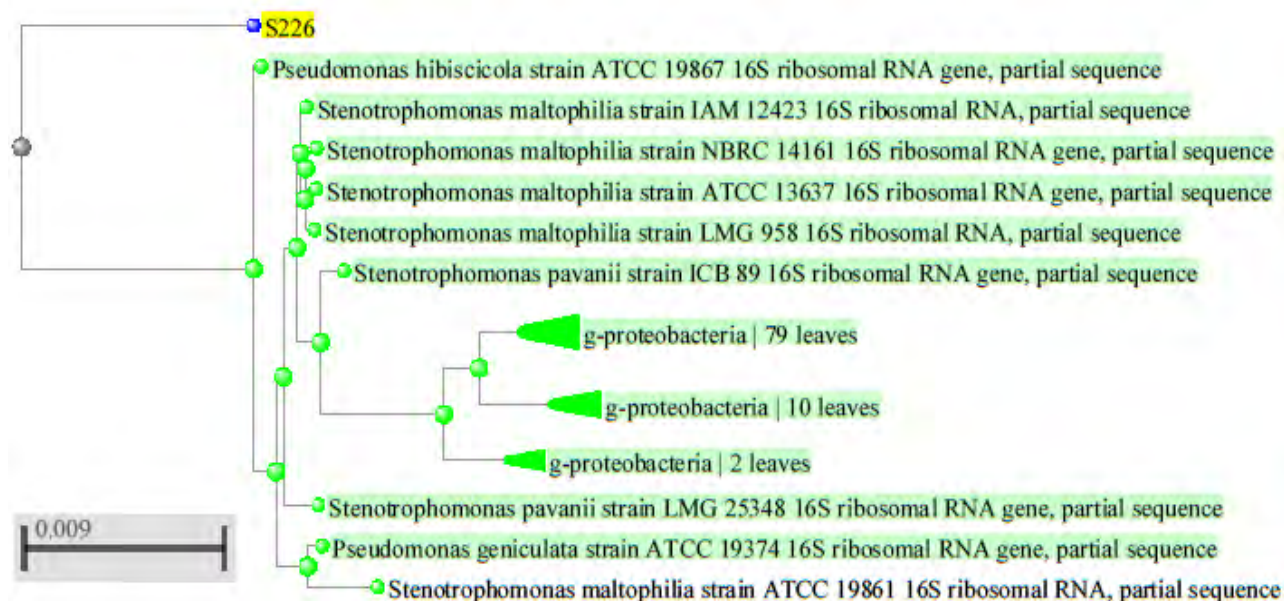


Figure 5: Dendrogram of the DNA sequence of the ribosomal 16S gene of isolate S226 with those found in GenBank, according to the Neighbor-joining method dated 09/22/2018.

The sequence alignment of isolate S296 is that it most closely resembles *Bacillus*. Among the first 100 *Bacillus* strains, four have the good score (1766) with 100% similarity and 95.98% identity, of which *Bacillus amyloliquefaciens* strain MPA 1034 is placed in first position then *Bacillus nakamurai* strain NRRL B-41091 16S with a score of 95.89% and *Bacillus vallismortis* strain NRRL B-14890 16S comes in last place with only a similarity of 86%, a score of 1535, but has the highest identity rate 96.10 %. The dendrogram of isolate S296 shows that it is also unknown to the GenBank database (Figure 6).

Isolate S296 sequence

Format Fasta, length 1081, Chargaff coefficient GC = 54,11%

>S296 IWA-FD1-R-F11 17

```

AGGTTCCCTTACCGGCTTCGGGTGTTCAATGTCTCGTGGTGTGACGGGCGGTGTGTACAAGGCCCGG
GAACGTATTACCGCGGGATGCTGATCCGCGATTACTAGCGATTCCAGCTTCACGCAGTCGAGTTG
CAGACTGSGATCCGAACTGAGAACAGATTTGTGGGATTGGCTAACCTCGCGGTCTCGCTGCCCTT
TGTTCTGCCATTGTAGCACGTGTGTAGCCCAGGTCATAAGGGGCATGATGATTTGACGTCATCCC
CACCTTCCTCCGGTTTGTACCGGCAGTCACCTTAGAGTGCCCAACTGAATGCTGGCAACTAAGAT
CAAGGGTTGCGCTCGTTGCGGGACTTAACCCAACATCTCACGACACGAGCTGACGACAACCATGC
ACCACCTGTCACTCTGCCCCGAAGGGGACGTCTCTCTAGGATTGTCAGAGGATGTMAAGAC
CTGGTAAGGTTCTTCGCGTTGCTTCAATTAACACATGCTCCACCGCTTGTGCGGGCCCCCGTC
AATTCCTTTGAGTTTCAGTCTTTCGACCGTACTCCCCAGGCGGAGTGCTTAATGCGTTAGCTGCAG
CACTAAGGGGCGGAAACCCCTAACACTTAGCACTCATCGTTTACGGCGTGGACTACCAGGGTATC
TAATCCTGTTTCGCTCCCCACGCTTTCGCTCCTCAGCGTCAAGTTACAGACCAGAGAGTCGCCTTCGCC
ACTGGTGTTCCTCCACATCTACGCATTTACCAGTACACGTTGGAATTCCACTCTCCTCTTCTGGA
CTCAAGTTCCAGTTTCCATGACCCTCCCCGTTGAGCCGGGGCTTTCACATCAGACTTAAGAAAC
CGCCTGCGAGCCCTTACGCCATAATTCCGGACAACGCTTGCCACCTACGTATTACCGCAGCTGC
TGGCACGTAGTTMAGTCGTGGACTWTTCTGGATTACGYACYCGTCAAGTGCGGCCTATTGAACGG
CACTTGTCTTCCCTACGACAGAGCTTACGATCGAAAACGTCATCACCTSCACGCGACGTAGCCT
CGTGMGACTTTCGATCCATGCGCAAGA

```

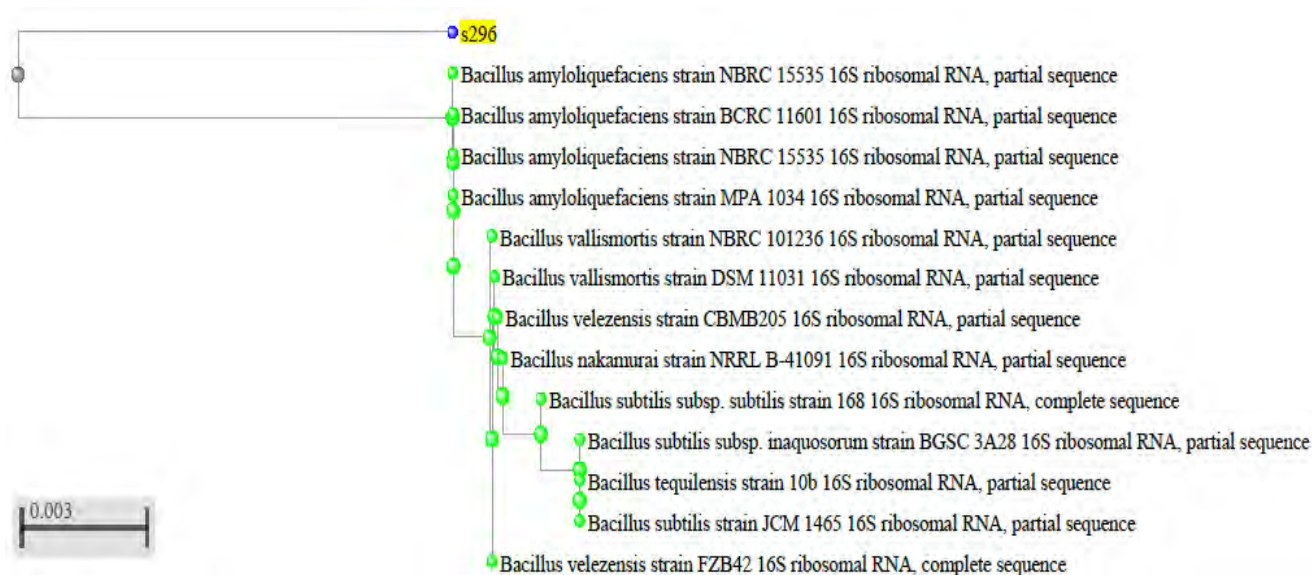


Figure 6: Dendrogram of the 16S ribosomal DNA sequence of isolate S296 with those found in GenBank. (09/22/2018)

Discussion

The DTTa pool is an ecosystem favorable to the development of microorganisms. Some of its characteristics such as the pH of the water, the phenomenon of eutrophication and the black color of the soil; are not negligible conditions for the proliferation of actinomycetes. The staining of the soil may also suggest the presence of melanin-producing bacteria, and having a good potential for the production of bioactive substances as announced by certain authors [9, 10]. This melanin pigment most often plays a role in protecting microorganisms, animals and even humans against ultraviolet (UV) rays [11, 12, 13]. The production capacity of bioactive substances remains highly questionable depending on the composition of the culture media [14, 15]. Some authors [15, 16] believe that in addition to carbon sources, pH and incubation temperature have an important influence on the production of secondary metabolites in bacteria. On the other hand, some authors believe that Bennett's medium is proven effective for the production of antibiotics by bacteria [8]. This justifies the choice of this medium in this study, the primary objective of which was to assess the antibiotic production capacity of these bacteria. This study showed antimicrobial activity in 4 isolates, including S296 on *S. aureus* and that of S226 seems to produce a thick and diffusible substance in contact with *S. typhi* and *S. aureus*, [5]. These two isolates have shown promising larvicidal results on mosquito larvae.

In view of these results, morphologically, the isolates appear to be actinomycetes. Studies have

shown that actinomycetes have a great potential for producing bio-insecticides [17]

The results of the larvicidal test are promising. Isolate S226 produced a larvicidal effect of 14% (or 3.5 / 25) larval death within the first hour at a concentration of 2.5% (Figure 1). These results were below those observed by Dhansekaran [18], and a study by Prabhakaran [19] showed that the genus *Pseudomonas fluorescence* has a very important larvicidal activity, almost 100% in less than 24 hours of culture. One of the peculiarities with isolate S226 is the fact that no larvae could develop to reach the adult stage of a flying mosquito. This ability to inhibit larval development by isolate S226 deserves special attention and needs to be further investigated. Isolate S296 is similar to a *Bacillus*, has a weak larvicidal effect at low concentrations. These results are far less than that of *Bacillus thuringiensis*, which has been shown to have good larvicidal power [20, 21] and remains the benchmark bacterium in biological larvicidal control to this day.

Among the methods for identifying bacteria, the molecular approach appears to be simpler, more convenient, faster and more efficient [22]. This is the basis for the choice of the 16S rRNA gene, which is specific to each species and whose 5' and 3' ends (first 15 and last 15 bases) are conserved in all bacterial species. Time is most often put forward for the diagnosis or identification of microorganisms, hence the need to invest more in the development of new identification techniques. This is how several rapid diagnostic kits and software such as APIWEBTM, BactecTM,

Rapidec™, etc. are on the market, and are most often very oriented and used in the medical field.

The phylogenetic comparative analysis of the sequences of the 2 isolates, shows that the S226 isolate has a great similarity (98%) with five bacteria of which the species *Pseudomonas hibiscicola* (gram negative bacteria) has the highest score (1772), and that of S296 is similar to the genus *Bacillus*, more precisely the gram-positive *Bacillus amyloliquefaciens* with a similarity rate à 95.98%. With this level, it is difficult to say that isolate S296 belongs to the strain *Bacillus amyloliquefaciens*. It is scientifically accepted that any similarity rate of more than 96% to a strain is synonymous with that isolate belonging to that strain. In addition, the dendrogram of the two isolates shows that they are unknown in the Genbank database (Figures 5 and 6)

At the end of this study, two bacteria were isolated from the soil of the DTT pond, having the capacity to produce bioactive substances which exhibited larvicidal properties. These results are of great importance, but remain quite limited, as it would be necessary to pursue additional studies which could be used to develop new biological larvicidal molecules. Isolate S226 could be a potential candidate for the biological control of malaria vectors.

Thanks

To the Rectorate of USTTB for its financial support, Dr Doulaye Dembélé for proofreading the article, Pr Amadou Hamadoun Babana for the design and material support.

Conflict of interest

The authors of this article claim that they have no conflict of interest in this work.

Références

Bolduc, D.G., Delage, G., Dionne, M., Nantel, A., Boudreault, D. et Lessard, S. 1995. L'insecticide *Bacillus thuringiensis* et la santé humaine, *BISE*, (6) 5 : 1-3.

Basavaraj K.N., Chandrashekhara S., Prakash S.G., Shamarez A.M., and Fakirappa V.M. 2010. Production of Antibiotics from Soil-Isolated Actinomycetes and Evaluation of their Antimicrobial Activities. Available online at <http://www.tjpr.org>, *Tropical Journal of Pharmaceutical Research* August 2010; 9 (4): 373-377.

Usama RA., Sheila M. P.E., Amro H., Mona R., Soad H. A., Safwat A., Ute H. 2010. Isolation, Phylogenetic Analysis and Anti-infective Activity Screening of Marine Sponge-Associated Actinomycetes. *Marine Drugs*, 2010, 8,399-412;

doi: [10.3390/md8030399](https://doi.org/10.3390/md8030399).
www.mdpi.com/journal/marinedrugs.

Rokiatou F, Diakaridia T, Adounigna K, Oumar O, Amadou H.D, Mamadou W.B, Fassé S, Amadou H.B, Fernando H.V. 2017. Caractérisation moléculaire des cristaux protéiques des souches de *Bacillus Thuringiensis* (BT) isolées des sols du Mali. MSAS, 2016, 9ème Symposium Malien des Sciences Appliquées, du 31 juillet au 05 août 2016 à Bamako,p:169-172, Juin 2017, <http://www.msas2016.ml>

Mamadou W.B., Amadou H. B., Adounigna K., Doulaye D. 2018. Antimicrobial Activities of Four Strains of *Streptomyces sp* Isolated from the Pond of the Village of Demba Tiarki Tara in Mali. *International Journal of Microbiology and Biotechnology*. Vol. 3, No. 2, 2018, pp. 44-50. doi: 10.11648/j.ijmb.20180302.13

OMS, 2005. guidelines for laboratory and field testing of mosquito larvicides, Guidelines for laboratory and field testing of mosquito larvicides. Geneva: World Health Organization. (11/03/2018).

Awad M., Elshahed K., Elnakkadi A. 2009. Isolation screening and identification of newly isolated soil Streptomyces (*Streptomyces sp*. NRC-35) for β -lactamase inhibitor production. *Word Appl Sci J*. 7 (5): 637-646

Elarbi B., Sidi Brahim Salem EL.I., Issam M.K., Lahoucine H., and Abderraouf H. 2013. A molecular approach to the identification of actinomycetes producing antimicrobial activities strains by sequencing of the 16S rDNA. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 3 No. 4 Aug. 2013, pp. 1053-1065. <http://www.issr-journals.org/ijias/>.

Stackebrandt E., Rainey F.A. and Ward-Rainey N.L. 1997. Proposal for a new hierarchic classification system Actinobacteria classic nov. *Int J Syst Bacteriol*. 47:479-491.

Lindholm P., Kortemaa H., Kokkola M., Haahtela K., Salonen M. S., and Valkonen J.P.T. 1997. *Streptomyces* spp. Isolated from Potato Scab Lesions Under Nordic Conditions in Finland. November 1997, Volume 81, Number 11. 1317-1322. *APS Journals* <https://doi.org/10.1094/PDIS.1997.81.11.1317>.

Ruan L., He W., He J., Sun M and Yu Z. 2005. Cloning and expression of mel gene from *Bacillus thuringiensis* in *Escherichia coli*. *Antonie Van Leeuwenhoek* 87: 283–288.

- Yuan W., Burleigh SH., Dawson JO. 2007. Melanin biosynthesis by Frankia strain Ce15. *Physiol Plant* 131: 180–190.
- Shuster V., Fishman A. 2009. Isolation, cloning and characterization of a tyrosinase with improved activity in organic solvents from *Bacillus megaterium*. *J Mol Microbiol Biotechnol* 17: 188–200.
- Khattab A.I., Eltahir H., Babiker., Humodi A.S. 2016. *Streptomyces*: isolation, optimization of culture conditions and extraction of secondary metabolites. *Int. Curr. Pharml. J.* 5: 27-32.
- Charu S., Ramendra S.P., Pragya J and Ajay K. 2017. Optimization of cultural condition for production of antifungal bioactive metabolite by *Streptomyces* spp. isolated from soil. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sc* (2017) 6 (2): 386-396. doi: <http://dx.doi.org/10.20546/ijemas.2017.602.043>.
- Bundale S., Deovrat B., Nashikhar N., Kadam T., Upadhyay A. 2015. Optimization of culture conditions for production of bioactive metabolites by *Streptomyces* spp. Isolated from soil. *Adv. Microbial.*, 5:441-451.
- Chen Y, Shafi J, Li M, Fu D, Ji M. 2018. Insecticidal activity of endophytic actinomycetes isolated from *Azadirachta indica* against *Myzus persicae*. *Arch Biol Sci.* 2018;70(2):349-57.
- Dhanasekaran D., Sakthi N.V., Thajuddin and Panneerselvam A. 2010. Preliminary evaluation of *anopheles* mosquito larvicidal Efficacy of mangrove actinobacteria. *IJABPT*, vol 1, Issue 2, Available online at www.ijabpt.com
- Prabhakaran G., Padmanaban V., Balaraman K. 2000. Comparative efficacy of UV screens in protecting the activity of a *Bacillus thuringiensis* formulation. *J Biol Control* 14, 63.
- Balaraman K., Bheema-Rao U.S., and Rajagopalan P.K. 1979. Isolation of Metarrhizium anisopliae, *Beauveria tenella* and *Fusarium oxysporum* (Deuteromycetes) and *Anopheles stephensi*, Indian Journal of Medical Research. 70, 718-722.
- Manonmani, A.M. and Balaraman, K. 2001. A high mosquitocidal *Bacillus thuringiensis* var. *thompsoni*, *Curr. Sci.* 80, 779.
- Cook AE., Meyers R.** 2003. Rapid identification of filamentous actinomycetes to the genus level using genus-specific 16S rRNA gene restriction fragment patterns. *Inter J Syst and Evol Microbiaol.* 53: 1907-15.

Long-term Nitrogen Addition Reduces the Frequency of Inhibitory Phenotypes Among Soil-Borne Actinomycetes in Maize Monocultures

Amadou Hamadou Dicko^{1*}, Miriam Frances Gieske², Linda Kinkel²
¹Faculty of Agronomy and Animal Sciences, University of Segou, Mali
²Department of Plant Pathology, University of Minnesota
 *Corresponding author's email address: alwadiamadou17@gmail.com

ABSTRACT: Soil bacteria produce a diverse array of antibiotics which mediate interactions among microbes. Resource competition and tradeoffs between inhibitory ability and growth are thought to be important in shaping the evolution of inhibitory phenotypes, but tests of these ideas in naturally-occurring microbial populations remain scarce. We sampled soils from a long-term maize monoculture experiment in which fertilizer and residue incorporation had been manipulated in a factorial design for 57 years. We measured soil carbon and nitrogen, microbial biomass, total bacterial and actinomycete densities, and frequencies and intensities of antibiotic inhibitory phenotypes within actinomycete populations. We focused on actinomycetes because they are ubiquitous in soil, easily cultured, inhibit a broad range of bacterial and fungal plant pathogens and play a significant role in naturally-occurring disease suppressive soils. We found that although soil carbon and nitrogen and microbial densities tended to be greater with nitrogen fertilizer, the frequency of inhibitory phenotypes among culturable actinomycetes was lower in fertilized than non-fertilized plots. These results suggest that density-mediated processes alone cannot explain the effects of amendments on inhibitor frequencies. Fitness costs and benefits of inhibitory phenotypes may vary over time, and may depend on type of resource amendment. In this study soil-borne *Streptomyces* isolates from a long-term agricultural experiment was used to examine the relationships between resource inputs (nitrogen fertilizer and crop residues), resource use traits, and inhibitory phenotypes, as well as relationships between *Streptomyces* inhibitory phenotypes and the diversity and composition of the soil microbiome. Further research is needed to better understand the mechanisms by which resource inputs affect the evolution of inhibitory capacities among naturally-occurring soil microbial populations.

Keys words: soil-borne actinomycetes, monocultures, maize, resource inputs

1. INTRODUCTION

Antibiotic production is an important mechanism by which inoculated biocontrol organisms and indigenous soil microbes suppress crop diseases (Raaijmakers et al. 2002). Antibiotic production by soil microbes has been detected in the rhizosphere (Thomashow et al. 1990), on or near decomposing organic matter (Wright 1956; Hansen et al. 2001), and in field soil (Raaijmakers et al. 1999; Berendsen et al. 2013). The role of antibiotics in disease suppression has been convincingly demonstrated in multiple studies with isogenic antibiotic-producing and non-producing bacterial strains (Leifert et al. 1995; Chin-A-Woeng et al. 1998; Timms-Wilson et al. 2000; Heungens and Parke 2001; de Souza et al. 2003). In field studies, the frequency or density of indigenous soil-borne *Streptomyces* and other actinomycetes with *in vitro* inhibitory capacity (a measure of antibiotic production) has been negatively correlated with disease severity or pathogen survival in multiple pathosystems (Wiggins and Kinkel 2005a,b; Perez et al. 2008; Tomihama et al. 2016). Likewise, the population density of indigenous antibiotic-producing *Pseudomonas* spp. and the frequency of antibiotic production within the fluorescent pseudomonad population were higher in disease-suppressive than in conducive soils (Raaijmakers et al. 1997; de

Souza et al. 2003). Thus, management of soil microbial populations for increased antibiotic production is an attractive approach to crop disease control. However, consistent disease suppression via antibiotic production by indigenous microbes requires a clear understanding of how management practices influence the inhibitory capacities of soil microbes (Kinkel et al. 2011; Zhang et al. 2016).

Although the effects of organic amendments such as composts, crop residues, and green manures on crop disease outcomes have been extensively studied, relatively little is known about how amendments affect the microbial populations responsible for disease suppression. A recent review summarizing 2423 studies of organic amendments' effects on crop disease found that only 10% reported microbial densities (Bonanomi et al. 2010). While amendments' effects on microbial densities predicted disease suppression better than their effects on soil chemical parameters among these studies, considerable uncertainty remains. More detailed studies of amendment effects on the densities and relative frequencies of microbes with inhibitory phenotypes are needed to understand how amendments affect the ecology and evolution of antibiotic producing microbes.

Antibiotic production has traditionally been thought to benefit producers by allowing them to suppress the growth of resource competitors (Raaijmakers and Mazzola 2012; Schlatter and Kinkel 2014a), although the role of antibiotics as weapons in competitive interactions has been disputed (Davies 2006; Linares et al. 2006). Density-dependent selection for antibiotic production is hypothesized to occur via two distinct mechanisms (Greig and Travisano 2008). First, as antibiotic producer density increases, so does the antibiotic concentration, which increases the intensity of effects experienced by sensitive populations. Second, increased population density increases the frequency of inhibitory interactions between populations. Both these mechanisms are thought to result in a greater total reduction in the sensitive population's growth, and thus stronger selection for antibiotic production, when microbial density is high. Consistent with these predictions, density-dependent selection for antibiotic production was observed in microcosm studies in which toxin-producing yeast were cultured with sensitive competitors (Greig and Travisano 2008). Since resource inputs typically increase microbial densities, increased resource availability is generally expected to favor antibiotic producers (Fig. 1.1; Frank 1994; Scheuring and Yu 2012).

Like composts and green manures, agricultural practices such as fertilization and crop residue incorporation may increase resources available to soil microbes. Yet little information is available concerning the effects of crop residue incorporation and inorganic nitrogen fertilization on inhibitor frequencies and densities, even though these practices are applied to far more cropland than composts and green manures. Crop residues have more variable effects on disease outcomes than composts (Bonanomi et al. 2007). Whether this variability in disease outcomes can be explained by their effects on inhibitor frequencies and densities remains unknown. Similarly, relationships between quantity of inorganic nitrogen applied and inhibitor frequencies or densities are not known, although several studies have found that the form of nitrogen applied (nitrate versus ammonium) can affect inhibitor frequencies (Huber and Watson 1974; Smiley 1978; Sarniguet et al. 1992).

Our objectives in this work were to determine (1) how nitrogen fertilizer and crop residues, alone and in combination, influence microbial densities and the frequency of inhibitory phenotypes among soil bacteria; and (2) whether inhibitor frequencies are correlated with microbial densities, as predicted by the density-dependent selection hypothesis.

2. METHODS

Site characteristics and experimental design

Soil samples were collected at four time points in 2015-2017 from a long-term maize monoculture experiment established in 1959 at the University of Minnesota Rosemount Research and Outreach Center (Rosemount, MN, 44.70°N, 93.10°W). The soil type is a well-drained Waukegan silt loam (fine-silty over sandy or sandy-skeletal, mixed, superactive, mesic Typic Hapludolls). Annual precipitation averages 888 mm and mean annual temperature is 6.94°C (NOAA, 2018, 1981-2010 climate normals, station ID GHCND:USC00217107). The experiment has a split-plot design with two replicate blocks. The main plot treatment is aboveground crop residue management (removed after grain harvest vs. incorporated into the soil following harvest), and the split plot treatment is nitrogen fertilizer (103 kg N ha⁻¹ as urea applied immediately before maize planting vs. no fertilizer). Plots are 15 m by 15 m. No other fertilizers are applied. All plots are moldboard plowed in fall after grain harvest, followed by secondary tillage in spring before planting. Weeds and pests are managed using agronomic practices standard in the region (UMN Extension 2018a, b).

Soil sampling

Sampling dates were November 2015 just before grain harvest, in August 2016 at peak maize biomass, in November 2016 just after grain harvest and moldboard plowing, and in April 2016 after preplanting tillage but before fertilizer application and planting. Soil samples were collected using a stratified random sampling design. Each plot was divided into four subplots. At each sampling date, a single sampling location within each subplot was chosen at random using the *sample* function in R. At each sampling location, 3-5 soil cores (2 cm diameter by 15 cm depth) were collected using a standard soil probe. Cores within each sampling location were bulked, for a total of one sample per subplot and four samples per plot. In all, 32 samples were collected at each sampling date. Samples were transported to the lab on ice and stored for up to 4 d at 4°C before being homogenized by hand and air dried at room temperature under clean cheesecloth. After drying, samples were held in plastic bags at 4°C until they could be processed further. In November 2015, a portion of each sample was stored moist at 4°C for 6-7 d total to be processed for microbial biomass analyses.

Soil chemistry

Total carbon, total nitrogen, and pH were measured on dry soil samples from November 2015 and November 2016. Total carbon and nitrogen were measured by combustion using a Costech CN elemental analyzer (Costech Analytical Technologies, Inc., Valencia, CA). No carbonates are reported in the 0-15 cm layer (USDA-NRCS

2018). Thus total carbon was assumed to be equal to total organic carbon. Soil pH was measured on a 1:2 (w/v) soil and water mixture using a ThermoScientific Orion Star A211 pH meter (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA).

Microbial biomass

Microbial biomass carbon and nitrogen were measured on soil samples from November 2015 using the chloroform fumigation-extraction method (Brookes et al. 1985; Beck et al. 1997). Briefly, one 9 g subsample of each moist soil sample was extracted with 0.5 M K₂SO₄ without fumigation. Another 9 g subsample was fumigated with chloroform for 3 d, then extracted using the same procedure. Filtered extracts were frozen at -20°C until they could be analyzed using a Shimadzu TOC/TON analyzer (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan). A third set of 20 g subsamples was weighed, dried at 105°C for 48 hrs, and reweighed to measure soil moisture. The difference in extractable carbon or nitrogen between fumigated and non-fumigated subsamples is chloroform-labile carbon or nitrogen. Microbial biomass carbon was estimated as chloroform-labile carbon divided by 0.45 (Beck et al. 1997), while microbial biomass nitrogen was estimated as chloroform-labile nitrogen divided by 0.54 (Brookes et al. 1985).

Microbial density and inhibitory capacity

November 2015: actinomycete and total culturable bacterial density were quantified by dilution plating. Briefly, dried soil was crushed to pass a 2 mm sieve. For each soil sample, five g soil were diluted in 50 mL sterile deionized water and shaken for 1h at 5-6°C and 175 rpm. Dilutions were plated on starch casein agar (SCA; 10 g starch, 0.3 g casein, 0.02 g CaCO₃, 2.0 g KNO₃, 2.0 g NaCl, 2.0 g, K₂HPO₄, 0.05 g MgSO₄·7H₂O, 0.01 g FeSO₄·7H₂O, 0.001 g, ZnCl₂, and 15 g agar per liter of deionized H₂O) (Küster and Williams 1964). Plates were incubated for 5 d at 28°C. Spore-forming actinomycete colonies (primarily *Streptomyces*) were identified by their characteristic morphology and counted; total bacterial colonies were also quantified. After an additional 3 to 4 d incubation, 5 actinomycete colonies per sample were chosen from the dilution plates using a random grid. Selected isolates were subcultured to pure cultures. A second round of isolations was performed using the same method to replace isolates lost in subculturing. In all, 148 isolates were collected, for a total of 3-5 isolates per sample and 16-20 isolates per plot. All isolates were in the order Actinomycetales and over 90% were *Streptomyces* species, as verified by sequencing 16S DNA. These isolates were tested for their ability to inhibit three *Streptomyces* standards (DL87, a pathogenic strain of *S. scabiei*, and two non-pathogenic strains, 1324.2 and 4-21) using a dot-and-overlay method (Vidaver et al. 1972; Schlatter

and Kinkel 2015). These strains were chosen as standards because they vary in their resistance to other *Streptomyces* isolates (Davelos et al. 2004). Briefly, 10 µL of a spore suspension of each isolate was dotted on a 15 mL SCA plate, with three isolates randomly assigned to each plate. Plates were incubated 3 d at 28°C, after which isolates were killed by chloroform fumigation. Plates were overlaid with 15 mL 1% water agar (WA) and 100 µL spore suspension of a standard was spread on top. Plates were again incubated 3 d at 28°C. The size of any clear inhibition around each dot was measured twice at right angles from the edge of the dot to the edge of the inhibition zone, and the mean zone size was recorded. Each isolate-standard combination was replicated twice. If the difference in inhibition zone size between the two replicates was > 2 mm, the combination was replicated a third time. Isolate-standard interactions where the mean inhibition zone was greater than 1 mm were classified as inhibitory.

To test our hypothesis that amendments would increase the inhibitory potential of the soil microbial community, we calculated frequency of inhibition averaged across the three standards. The density of inhibitory actinomycetes for each sample was calculated as the average frequency of inhibition multiplied by total actinomycete density. Finally, we calculated the intensity of inhibition (mean inhibition zone size) among inhibitors of each standard, as an alternative measure of effects of treatments on isolates' inhibitory capacities.

August 2016, November 2016, and April 2017: actinomycete and total culturable bacterial density were measured as for November 2015, except that dilutions were plated on 15 mL WA plates and overlaid with 5 mL molten SCA, and plates were incubated for 3 d at 28°C instead of 5 d. Inhibitor frequency and density were measured by overlaying standards directly on dilution plates (Herr 1959; Bakker et al. 2013). After actinomycete and total bacterial density were counted, colonies on the dilution plates were killed by chloroform fumigation. Plates were overlaid with 10 mL SCA, and 150 µL spore suspension of one of the three standards described above was spread on top. Plates were incubated for 3 d more at 28°C and actinomycete colonies were classified as inhibitory (inhibition zone > 1 mm), non-inhibitory (inhibition zone ≤ 1 mm), or unscorable (colony was within a larger inhibition zone or contaminants on plate prevented measurement of inhibition of standard). Unscorable colonies were excluded from calculations of inhibitor frequency. In total, 109 to 362 colonies were scored per plot for each standard at each sampling date. Frequency and density of inhibition averaged across the three standards were

calculated for each sampling date as described for the November 2015 samples.

Statistical analyses

All statistical analyses were conducted in R version 3.4.4 (R Core Team 2018). Effects of crop residue and fertilizer treatments on soil carbon, nitrogen, and pH; actinomycete and total bacterial density; microbial biomass carbon and nitrogen; inhibitor frequency and density; and intensity of inhibition were tested using an analysis of variance (ANOVA) appropriate for a split-plot experimental design (Crawley 2014), with residue (main plot) and fertilizer (split plot) as fixed effects, and block and subsample as random effects (packages *lmerTest* (Kuznetsova et al. 2017) and *emmeans* (Lenth et al. 2018)). Residuals were checked for normality visually. Where similar measures were collected at multiple sampling dates, sampling date was also included in the ANOVA as a fixed effect, since we were interested in whether there were seasonal patterns in response variables. However, microbial density and inhibitor frequency data from November 2015 were analyzed separately, due to differences in the methods used to collect these data between November 2015 and other sampling dates. Effects were considered statistically significant when the p-value was < 0.05 . Graphs were produced in R using the packages *ggplot2* (Wickham 2016) and *cowplot* (Wilke 2016).

3. RESULTS

Soil chemistry

Fifty-seven years of consistent nitrogen fertilizer and crop residue management had surprisingly little effect on soil chemistry variables in November 2015 and November 2016 (Fig. 1.2, Table 1.2). Mean pH was significantly lower in fertilized plots compared to non-fertilized plots in November 2015, though not in November 2016. On average, total carbon was 11% greater and total nitrogen was 10% greater in fertilized plots compared to non-fertilized plots, but these differences were not statistically significant. Carbon and nitrogen of individual soil samples were strongly positively correlated ($R^2 = 0.82$, $p < 0.001$, $n = 64$). Total carbon, total nitrogen, and pH were all slightly but significantly higher in November 2015 than in November 2016. Residue incorporation did not significantly affect soil chemical characteristics.

Microbial density and biomass

Actinomycete density differed significantly between treatments in August 2016 but not in November 2016 or April 2017 (Table 1.3). Specifically, actinomycete density in August 2016 was greater in plots with fertilizer applied and crop residue removed than in non-fertilized plots with or without residue (Fig. 1.3). Total culturable bacterial density did not differ significantly among treatments, though like soil carbon and nitrogen, it tended to be

greater in fertilized than non-fertilized plots (Fig. 1.3; Table 1.3). Similar trends toward greater values in fertilized plots were observed in November 2015 for actinomycete and bacterial densities, as well as microbial biomass carbon and nitrogen (Table 1.4). Residue incorporation did not significantly affect total bacterial density or microbial biomass (Tables 1.3 and 1.4).

Both actinomycete and total bacterial densities showed strong seasonal variation (Fig. 1.3; Table 1.3). Actinomycete density was greatest in August 2016 and declined significantly from August to November and again from November to April. This pattern was consistent across treatments, despite significant interactions between treatment and sampling date. Total bacterial density also declined significantly from August to November, but rebounded from November to April, so that August and April bacterial densities were not significantly different.

Inhibitory capacity

We hypothesized that long-term nitrogen fertilizer and residue incorporation would increase the inhibitory capacity of soil-borne actinomycetes. We found that fertilizer did indeed affect inhibitory actinomycetes, but its effect was opposite to our prediction. Across three sampling dates in 2016-2017, the frequency and density of actinomycetes with inhibitory phenotypes were significantly lower in fertilized than non-fertilized plots (Fig. 1.3; Table 1.3). Residue incorporation did not significantly affect inhibitor frequency or density, though there was a trend toward lower inhibitor frequency and density in plots with residue incorporated, especially within the non-fertilized treatment (Fig. 1.3; Table 1.3). Inhibitor frequency and density were lower in November than August. Inhibitor density, but not frequency, was also lower in April than August.

Preliminary data on inhibitory phenotypes collected in November 2015 showed similar trends to the 2016-2017 sampling dates, in that the frequency and density of inhibitory actinomycetes were numerically greater in non-fertilized than fertilized plots (Table 1.5). However, these differences were not statistically significant, probably due at least in part to the lower number of actinomycete colonies screened (per standard: 148 in November 2015 versus > 1200 at each other sampling date). In addition, we measured the intensity of isolates' inhibitory capacities (inhibition zone size) at this sampling date, but found no significant differences between treatments ($p > 0.1$; data not shown).

We also hypothesized that the frequency of inhibitory actinomycetes would be positively correlated with actinomycete density. No correlation between actinomycete density and inhibitor frequency was observed when data from

the three sampling dates in 2016-2017 were pooled for analysis ($R^2 < 0.01$, $p = 0.87$). However, when sampling date was included in the regression model as a covariate, there was a significant negative correlation between actinomycete density and inhibitor frequency (Fig. 1.4, $p = 0.04$). In contrast, when both fertilizer and residue treatments were used as covariates, there was a trend towards greater inhibitor frequency with greater actinomycete density (Fig. 1.4, $p = 0.07$). In other words, the relationship between actinomycete density and inhibitor frequency was negative within sampling dates (across treatments), but positive within treatments (across sampling dates). Qualitatively similar results were obtained when total bacterial density was substituted for actinomycete density.

4. DISCUSSION

Selection for inhibitory ability in microbial communities has been argued to be dependent on high population densities (Frank 1994; Greig and Travisano 2008; Kinkel et al. 2012; Scheuring and Yu 2012). Our results suggest that this hypothesis is too simple, and that the relationship between the frequency of inhibitory phenotypes and microbial density depends on the factors that generate the variation in density. Specifically, inhibitor frequency was positively associated with density across sampling dates, but negatively associated with density across fertilizer treatments. Temporally, both microbial density and inhibitor frequency were greatest during the maize growing season. Yet nitrogen addition resulted in lower frequencies of antibiotic inhibitory phenotypes among indigenous soil actinomycetes in nitrogen fertilized plots than in non-fertilized plots, even though soil carbon, soil nitrogen, and microbial density tended to be greater in fertilized plots. Residue incorporation, meanwhile, did not significantly increase soil carbon, soil nitrogen, actinomycete density, or inhibitor frequency.

Models considering the effects of resource inputs on microbial densities and inhibitor frequencies (e.g. Scheuring and Yu 2012) assume, crucially, that microbial populations are at equilibrium with resource inputs. Implicit in the assumption of equilibrium is an assumption that microbial population growth remains resource-limited, and thus inhibitory ability remains important to fitness, no matter how high resource inputs are. In reality, of course, resource availability in soil varies dramatically in both space and time (Kuzyakov and Blagodatskaya 2015), and microbial population growth may not always be resource-limited. For example, microbial populations in rhizosphere hotspots grow and then decline over a period of days in response to labile carbon inputs from the root, and competition for resources is greatest at the end of this period when microbial population density is

high but resource inputs have greatly decreased (Kuzyakov and Blagodatskaya 2015). Inhibitory *Streptomyces* isolates have lower growth efficiency, on average, than non-inhibitory isolates (Schlatter and Kinkel 2015), but we know very little about how the fitness costs and benefits of antibiotic production vary over different phases of their life cycles. The fact that antibiotic production in *Streptomyces* is co-regulated with sporulation (Chater 2006) may mean that antibiotic production is beneficial primarily or exclusively at the transition from a period of growth to a period of starvation. This hypothesis is consistent with laboratory studies of toxin-producing yeast, which found that toxin producers competing with a sensitive strain had greater relative fitness than their competitors only in the last few cell divisions before stationary phase (Greig and Travisano 2008).

Under this hypothesis, increased carbon and nitrogen availability in the rhizosphere with nitrogen addition (Zhu et al. 2016) might allow rhizosphere microbial populations to grow more before they begin to run out of resources. If inhibitory ability is beneficial at the transition from growth to starvation but costly during exponential growth, extending the period of exponential growth in this way may reduce the fitness of inhibitory microbes overall. Moreover, while we know that there is a tradeoff between inhibitory ability and growth efficiency in *Streptomyces*, we do not know whether there are also tradeoffs between inhibitory ability and tolerance of abiotic stressors such as cold temperatures or starvation. If such tradeoffs exist, lower inhibitor frequencies in November 2016 and April 2017 compared to August 2016 could be explained by lower tolerance of stressful winter conditions among inhibitors relative to non-inhibitors. Testing these hypotheses will require measuring growth of competing inhibitory and non-inhibitory populations at much finer spatial and temporal scales than in this study, and with higher resolution measurements of carbon and nitrogen availability.

Eco-evolutionary models also assume that there is a single limiting resource for which microbial populations compete, and that resource inputs do not change the identity of this limiting resource (Scheuring and Yu 2012). Like the assumption of equilibrium, this assumption is violated in soil, where microbes compete for a multitude of carbon- and nitrogen-containing compounds, and microbial population growth is limited by carbon availability in bulk soil (Demoling et al. 2007), but by nitrogen availability in the rhizosphere (Kaye and Hart 1997; Wang and Bakken 1997; Jensen and Nybroe 1999). The fitness of inhibitory microbes can be affected by the diversity of resources available as well as by resource quantity; for example, in prairie systems

high resource diversity in plant polycultures is associated with low inhibitor frequency (Bakker et al. 2013; Essarioui et al. 2017). Further research is needed to determine how management practices such as nitrogen addition affect the type and diversity of resources for which soil microbes compete. In particular, it would be useful to know whether nitrogen addition alleviates competition for nitrogen in the rhizosphere, and whether tradeoffs between inhibitory ability and growth depend on whether microbial populations are carbon or nitrogen limited. Interestingly, while the positive effects of green manures on inhibitor frequencies have generally been attributed to the fact that they add labile carbon to the soil (Wiggins and Kinkel 2005a, b), the present study suggests their ability to sequester inorganic nitrogen (Thorup-Kristensen et al. 2003; Gieske et al. 2016) could also be important.

Spatial heterogeneity and interactions with tillage practices could also play a role in how fertilizer and residue management affect microbial communities. Carbon and nitrogen accumulate near the surface in no-tilled soils, but deeper in the soil profile when soils are tilled (Dolan et al. 2006). One limitation of our work is that we sampled only the upper 15 cm of the soil profile, a standard sampling depth for soil microbial studies. In tilled systems, sampling deeper soil layers might reveal stronger fertilizer and residue effects on soil chemistry, microbial densities, and inhibitor frequencies than those detected in this study.

Consistent disease control through microbiome management will require considering both the short-term ecological and long-term evolutionary consequences of management practices (Kinkel et al. 2012). Thus, while an amendment's effect on total microbial density may be a good predictor of its short term effect on disease suppression (Bonanomi et al. 2010), to achieve long-term disease suppression it is important to understand how amendments affect inhibitor frequencies as well. The present study shows that the simple prediction of increased inhibitor frequency with increased microbial density is inadequate to explain the effect of long-term nitrogen amendment on inhibitor frequency. Further research is needed to understand how the fitness costs and benefits associated with inhibitory ability may vary over time and space as microbial populations grow and collapse, and how different types of amendments can affect these fitness costs and benefits. Previous research in our

lab has largely focused on carbon availability as a potential evolutionary driver for antibiotic production (Schlatter et al. 2009; Kinkel et al. 2014; Essarioui et al. 2016). We suggest that greater attention to amendments' effects on soil nitrogen as well as carbon may improve our ability to predict their effects on inhibitor frequencies and disease suppression.

5. CONCLUSION

This study explored how resource inputs, tradeoffs with resource use traits, and soil microbiome composition and diversity influenced the antibiotic inhibitory phenotypes of *Streptomyces* from an agricultural soil, by addressing the following questions: (1) How do long-term addition or removal of two different types of resource inputs, aboveground plant residues and nitrogen fertilizer, affect the frequency of inhibitory phenotypes among *Streptomyces*? (2) How do the inhibitory phenotypes of soil-borne *Streptomyces* relate to soil physicochemical characteristics and the composition and diversity of soil bacterial and fungal communities?

Eco-evolutionary models predict that resource inputs will increase the frequency of inhibitory phenotypes in microbial populations through positive density-dependent selection for inhibitory ability (Frank 1994; Scheuring and Yu 2012). In contrast, We found that long-term nitrogen addition resulted in lower frequencies of antibiotic inhibitory phenotypes among indigenous soil actinomycetes in nitrogen fertilized plots than in non-fertilized plots, even though soil carbon, soil nitrogen, and microbial density tended to be greater in fertilized plots. Crop residue incorporation, meanwhile, did not significantly increase soil carbon, soil nitrogen, actinomycete density, or inhibitor frequency. These results suggest that simple models where increased resource inputs produce increased microbial density and inhibitor frequency are inadequate to explain the effect of long-term nitrogen amendment on inhibitor frequency. Further work on the mechanisms by which nitrogen addition influences antibiotic-producing microbial populations is needed.

Acknowledgements

Our thanks to Prof. Linda L Kinkel and all Kinkel Lab team for maintaining the field plots used in this study and for helping with soil sampling. Our thanks to the Fulbright program to financing this research travel.

Table 1.1: Relationships between microbial density and inhibitor frequency in soil.

Studies reporting resource effects on microbial density and inhibitor frequency					
Resource input	Microbial population(s)	Duration	Microbial density	Inhibitor frequency	Reference
Rhizodeposits (rhizosphere vs. bulk soil)	Bacteria	Short-term	+ ^a	+	Berg et al., 2006
Green manures	<i>Streptomyces</i> spp.	Short-term	+/NS	+/NS	Wiggins and Kinkel, 2005a,b
Compost	Rhizosphere bacteria	Short-term	NS	+/-	Brito et al., 1995
Compost	<i>Pseudomonas</i> spp.	Short-term	NS	NS	Rotenberg et al., 2007
NH₄⁺N (vs. NO₃⁻N)	<i>Streptomyces</i> spp., <i>Pseudomonas</i> spp., total bacteria	Short-term	NS	+/-	Smiley, 1978
Natural soil P and K gradient	<i>Streptomyces</i> spp.	Long-term	NS	-	Becklund, 2016
Studies reporting correlations between microbial density and inhibitor frequency					
Study system	Microbial population(s)	Duration	Correlation		Reference
Prairie	<i>Streptomyces</i> spp.	Long-term	Negative		Bakker et al., 2013
Agriculture with green manures	Bacteria, <i>Streptomyces</i> spp.	Short-term	Frequency of inhibition among <i>Streptomyces</i> spp. vs. bacterial density: positive vs. <i>Streptomyces</i> density: negative		Perez et al., 2008
^a Response to resource is: + positive, - negative, NS non-significant, +/- mixed					

Table 1.2: ANOVA results for effects of long-term crop residue and nitrogen fertilizer management on soil total carbon, total nitrogen, and pH.

		Soil C	Soil N	Soil pH
	df (numerator, denominator)	p > F		
Residue (R)	1, 1	NS	NS	NS
Fertilizer (F)	1, 2	NS	NS	NS
Sampling date (S)	1, 28	***	***	***
R by F	1, 2	NS	NS	NS
R by S	1, 28	NS	NS	NS
F by S	1, 28	NS	NS	*
R by F by S	1, 28	NS	*	NS

Significance codes: *** p < 0.001, ** p < 0.01, * p < 0.05, . p < 0.1

Analysis of variance (ANOVA) appropriate for a split-plot experimental design, with residue (main plot), fertilizer (split plot), and sampling date as fixed effects, and block and subsample as random effects. Degrees of freedom estimated using the Kenward-Roger method.

Table 1.3: ANOVA results for effects of long-term nitrogen addition, crop residue incorporation, and sampling date on actinomycete and total culturable bacterial densities, frequency of inhibitory phenotypes among actinomycetes, and density of inhibitory actinomycetes in 2016-2017.

	df (numerator, denominator)	Actino-mycete density	Total bacterial density	Percent inhibitory	Density inhibitory
		$p > F$			
Residue (R)	1, 1	NS	NS	NS	NS
Fertilizer (F)	1, 2	NS	NS	*	*
Sampling date (S)	2, 56	***	***	*	***
R by F	1, 2	NS	NS	NS	NS
R by S	2, 56	NS	NS	NS	NS
F by S	2, 56	*	NS	NS	.
R by F by S	2, 56	*	NS	NS	NS

Significance codes: * $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, . $p < 0.1$**
Analysis of variance (ANOVA) appropriate for a split-plot experimental design, with residue (main plot), fertilizer (split plot), and sampling date as fixed effects, and block and subsample as random effects. Degrees of freedom estimated using the Kenward-Roger method.

Table 1.4: Effects of long-term crop residue and nitrogen fertilizer management on actinomycete and total culturable bacterial densities (10^5 colony-forming units g^{-1} dry soil), and microbial biomass carbon and nitrogen ($\mu g g^{-1}$ dry soil) in November 2015.

		Actino-mycete density	Total bacterial density	Microbial biomass C	Microbial biomass N
Residue	Fertilizer	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD
Removed	Non-fertilized	3.46 \pm 0.12	24.6 \pm 2.3	330 \pm 16	24 \pm 6
	Fertilized	4.81 \pm 1.15	31.5 \pm 1.3	370 \pm 36	28 \pm 2
Incorporated	Non-fertilized	3.59 \pm 0.16	24.6 \pm 5.3	319 \pm 46	24 \pm 1
	Fertilized	4.38 \pm 0.32	33.6 \pm 5.6	400 \pm 11	27 \pm 1

ANOVA results

	df (numerator, denominator)	$p > F$			
Residue	1, 1	NS	NS	NS	NS
Fertilizer	1, 2	.	*	NS	NS
Interaction	1, 2	NS	NS	NS	NS

Significance codes: * $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, . $p < 0.1$**
Analysis of variance (ANOVA) appropriate for a split-plot experimental design, with residue (main plot) and fertilizer (split plot) as fixed effects, and block and subsample as random effects. Degrees of freedom estimated using the Kenward-Roger method.

Table 1.5: Effects of long-term crop residue and nitrogen fertilizer management on frequency of inhibitory phenotypes among actinomycetes (percent inhibitory) and density of inhibitory actinomycetes (10^4 colony-forming units g^{-1} dry soil) in November 2015.

Residue	Fertilizer	Percent inhibitory	Density inhibitory
		Mean \pm SD	Mean \pm SD
Removed	Non-fertilized	29 \pm 4	9.83 \pm 1.66
	Fertilized	23 \pm 5	10.36 \pm 0.98
Incorporated	Non-fertilized	33 \pm 14	10.74 \pm 4.98
	Fertilized	16 \pm 2	6.75 \pm 1.37
ANOVA results			
	df	(numerator, denominator)	p > F
Residue	1, 1		NS
Fertilizer	1, 2		NS
Interaction	1, 2		NS

Analysis of variance (ANOVA) appropriate for a split-plot experimental design, with residue (main plot) and fertilizer (split plot) as fixed effects, and block and subsample as random effects. Degrees of freedom estimated using the Kenward-Roger method. Inhibitor frequencies and densities are averaged across the three target *Streptomyces* standards. The higher overall frequency of inhibitory phenotypes detected in November 2015 compared to the 2016-2017 sampling dates is attributable to the use of a more sensitive (but more labor intensive) assay at this sampling date.

BIBLIOGRAPHY

- Bakker MG, Otto-Hanson L, Lange AJ, Bradeen JM, Kinkel LL. 2013. Plant monocultures produce more antagonistic soil *Streptomyces* communities than high-diversity plant communities. *Soil Biology and Biochemistry*. 65:304–312. doi:10.1016/j.soilbio.2013.06.007.
- Beck T, Joergensen RG, Kandeler E, Makeschin F, Nuss E, Oberholzer HR, Scheu S. 1997. An inter-laboratory comparison of ten different ways of measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*. 29(7):1023–1032.
- Berendsen B, Pikkemaat M, Römken P, Wegh R, van Sisseren M, Stolker L, Nielen M. 2013. Occurrence of chloramphenicol in crops through natural production by bacteria in soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 61(17):4004–4010. doi:10.1021/jf400570c.
- Berg G, Opelt K, Zachow C, Lottmann J, Götz M, Costa R, Smalla K. 2006. The rhizosphere effect on bacteria antagonistic towards the pathogenic fungus *Verticillium* differs depending on plant species and site: Rhizosphere-associated antagonistic bacteria. *FEMS Microbiology Ecology*. 56(2):250–261. doi:10.1111/j.1574-6941.2005.00025.x.
- Bonanomi G, Antignani V, Capodilupo M, Scala F. 2010. Identifying the characteristics of organic soil amendments that suppress soilborne plant diseases. *Soil Biology and Biochemistry*. 42(2):136–144. doi:10.1016/j.soilbio.2009.10.012.
- Bonanomi G, Antignani V, Pane C, Scala F. 2007. Suppression of soilborne fungal diseases with organic amendments. *Journal of Plant Pathology*:311–324.
- Brito AM de, Gagne S, Antoun H. 1995. Effect of compost on rhizosphere microflora of the tomato and on the incidence of plant growth-promoting rhizobacteria. *Appl Environ Microbiol*. 61(1):194–199.
- Brookes PC, Landman A, Pruden G, Jenkinson DS. 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil biology and biochemistry*. 17(6):837–842.
- Chater KF. 2006. *Streptomyces* inside-out: a new perspective on the bacteria that provide us with antibiotics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 361(1469):761–768. doi:10.1098/rstb.2005.1758.
- Chin-A-Woeng TFC, Bloemberg GV, van der Bij AJ, van der Drift KMG, Schripsema J, Kroon B, Scheffer RJ, Keel C, Bakker PAHM, Tichy H-V, et al. 1998. Biocontrol by phenazine-1-carboxamide-producing *Pseudomonas chlororaphis* PCL1391 of tomato root rot caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. *MPMI*. 11(11):1069–1077. doi:10.1094/MPMI.1998.11.11.1069.
- Crawley MJ. 2014. *Statistics: An introduction using R*. 2 edition. Chichester, West Sussex: Wiley.

- Davelos AL, Xiao K, Flor JM, Kinkel LL. 2004. Genetic and phenotypic traits of streptomycetes used to characterize antibiotic activities of field-collected microbes. *Canadian Journal of Microbiology*. 50(2):79–89. doi:10.1139/w03-107.
- Davies J. 2006. Are antibiotics naturally antibiotics? *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*. 33(7):496–499. doi:10.1007/s10295-006-0112-5.
- Demoling F, Figueroa D, Bååth E. 2007. Comparison of factors limiting bacterial growth in different soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 39(10):2485–2495.
- Dolan MS, Clapp CE, Allmaras RR, Baker J., Molina JAE. 2006. Soil organic carbon and nitrogen in a Minnesota soil as related to tillage, residue and nitrogen management. *Soil and Tillage Research*. 89(2):221–231. doi:10.1016/j.still.2005.07.015.
- Essarioui A, Kistler HC, Kinkel LL. 2016. Nutrient use preferences among soil *Streptomyces* suggest greater resource competition in monoculture than polyculture plant communities. *Plant and Soil*. 409(1–2):329–343. doi:10.1007/s11104-016-2968-0.
- Essarioui A, LeBlanc N, Kistler HC, Kinkel LL. 2017. Plant community richness mediates inhibitory interactions and resource competition between *Streptomyces* and *Fusarium* populations in the rhizosphere. *Microbial Ecology*. 74(1):157–167. doi:10.1007/s00248-016-0907-5.
- Frank SA. 1994. Spatial polymorphism of bacteriocins and other allelopathic traits. *Evolutionary Ecology*. 8(4):369–386.
- Gieske MF, Ackroyd VJ, Baas DG, Mutch DR, Wyse DL, Durgan BR. 2016. Brassica cover crop effects on nitrogen availability and oat and corn yield. *Agronomy Journal*. 108(1):151. doi:10.2134/agronj2015.0119.
- Greig D, Travisano M. 2008. Density-dependent effects on allelopathic interactions in yeast. *Evolution*. 62(3):521–527. doi:10.1111/j.1558-5646.2007.00292.x.
- Hansen LH, Ferrari B, Sorensen AH, Veal D, Sorensen SJ. 2001. Detection of oxytetracycline production by *Streptomyces rimosus* in soil microcosms by combining whole-cell biosensors and flow cytometry. *Applied and Environmental Microbiology*. 67(1):239–244. doi:10.1128/AEM.67.1.239-244.2001.
- Herr LJ. 1959. A method of assaying soils for numbers of actinomycetes antagonistic to fungal pathogens. *Phytopathology*. 49:270–273.
- Heungens K, Parke JL. 2001. Postinfection biological control of oomycete pathogens of pea by *Burkholderia cepacia* AMMDR1. *Phytopathology*. 91(4):383–391. doi:10.1094/PHYTO.2001.91.4.383.
- Huber DM, Watson RD. 1974. Nitrogen form and plant disease. *Annu Rev Phytopathol*. 12(1):139–165. doi:10.1146/annurev.py.12.090174.001035.
- Jensen LE, Nybroe O. 1999. Nitrogen availability to *Pseudomonas fluorescens* DF57 is limited during decomposition of barley straw in bulk soil and in the barley rhizosphere. *Applied and Environmental Microbiology*. 65(10):4320–4328.
- Kaye JP, Hart SC. 1997. Competition for nitrogen between plants and soil microorganisms. *Trends in Ecology & Evolution*. 12(4):139–143. doi:10.1016/S0169-5347(97)01001-X.
- Kinkel LL, Bakker MG, Schlatter DC. 2011. A coevolutionary framework for managing disease-suppressive soils. *Annual Review of Phytopathology*. 49(1):47–67. doi:10.1146/annurev-phyto-072910-095232.
- Kinkel LL, Schlatter DC, Bakker MG, Arenz BE. 2012. *Streptomyces* competition and co-evolution in relation to plant disease suppression. *Research in Microbiology*. 163(8):490–499. doi:10.1016/j.resmic.2012.07.005.
- Kinkel LL, Schlatter DC, Xiao K, Baines AD. 2014. Sympatric inhibition and niche differentiation suggest alternative coevolutionary trajectories among streptomycetes. *The ISME journal*. 8(2):249.
- Küster E, Williams ST. 1964. Media for the isolation of streptomycetes: starch casein medium. *Nature*. 202:928–929.
- Kuznetsova A, Brockhoff PB, Christensen RHB. 2017. lmerTest package: tests in linear mixed effects models. *Journal of Statistical Software*. 82(13).
- Kuzyakov Y, Blagodatskaya E. 2015. Microbial hotspots and hot moments in soil: Concept & review. *Soil Biology and Biochemistry*. 83:184–199. doi:10.1016/j.soilbio.2015.01.025.
- Leifert C, Li H, Chidburee S, Hampson S, Workman S, Sigee D, Epton H a. s., Harbour A. 1995. Antibiotic production and biocontrol activity by *Bacillus subtilis* CL27 and *Bacillus pumilus* CL45. *Journal of Applied Bacteriology*. 78(2):97–108. doi:10.1111/j.1365-2672.1995.tb02829.x.
- Lenth R, Singmann H, Love J, Buerkner P, Herve M. 2018. emmeans: Estimated marginal means, aka least-squares means. [accessed 2018 Nov 22]. <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>.

- Linares JF, Gustafsson I, Baquero F, Martinez JL. 2006. Antibiotics as intermicrobial signaling agents instead of weapons. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 103(51):19484–19489.
- Perez C, Dill-Macky R, Kinkel LL. 2008. Management of soil microbial communities to enhance populations of *Fusarium graminearum*-antagonists in soil. *Plant and Soil*. 302(1–2):53–69. doi:10.1007/s11104-007-9455-6.
- R Core Team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Raaijmakers JM, Bonsall RF, Weller DM. 1999. Effect of population density of *Pseudomonas fluorescens* on production of 2, 4-diacetylphloroglucinol in the rhizosphere of wheat. *Phytopathology*. 89(6):470–475.
- Raaijmakers JM, Mazzola M. 2012. Diversity and natural functions of antibiotics produced by beneficial and plant pathogenic bacteria. *Annual Review of Phytopathology*. 50(1):403–424. doi:10.1146/annurev-phyto-081211-172908.
- Raaijmakers JM, Vlami M, De Souza JT. 2002. Antibiotic production by bacterial biocontrol agents. *Antonie van Leeuwenhoek*. 81(1):537–547.
- Raaijmakers JM, Weller DM, Thomashow LS. 1997. Frequency of antibiotic-producing *Pseudomonas* spp. in natural environments. *Applied and Environmental Microbiology*. 63(3):881–887.
- Rotenberg D, Joshi R, Benitez M-S, Chapin LG, Camp A, Zumpetta C, Osborne A, Dick WA, Gardener BBM. 2007. Farm management effects on rhizosphere colonization by native populations of 2,4-diacetylphloroglucinol-producing *Pseudomonas* spp. and their contributions to crop health. *Phytopathology*. 97(6):756–766. doi:10.1094/PHYTO-97-6-0756.
- Sarniguet A, Lucas P, Lucas M. 1992. Relationships between take-all, soil conduciveness to the disease, populations of fluorescent pseudomonads and nitrogen fertilizers. *Plant Soil*. 145(1):17–27. doi:10.1007/BF00009537.
- Schlatter D, Fubuh A, Xiao K, Hernandez D, Hobbie S, Kinkel L. 2009. Resource amendments influence density and competitive phenotypes of *Streptomyces* in soil. *Microbial Ecology*. 57(3):413–420. doi:10.1007/s00248-008-9433-4.
- Schlatter D, Kinkel L, Thomashow L, Weller D, Paulitz T. 2017 Jun 26. Disease suppressive soils: New insights from the soil microbiome. *Phytopathology*.:1–14. doi:10.1094/PHYTO-03-17-0111-RVW.
- Schlatter DC, Kinkel LL. 2014a. Antibiotics: Conflict and communication in microbial communities. *Microbe*. 9:282–288.
- Schlatter DC, Kinkel LL. 2015. Do tradeoffs structure antibiotic inhibition, resistance, and resource use among soil-borne *Streptomyces*? *BMC Evolutionary Biology*. 15(1). doi:10.1186/s12862-015-0470-6. [accessed 2017 Sep 28]. <http://www.biomedcentral.com/1471-2148/15/186>.
- Smiley RW. 1978. Antagonists of *Gaeumannomyces graminis* from the rhizoplane of wheat in soils fertilized with ammonium- or nitrate-nitrogen. *Soil Biology and Biochemistry*. 10(3):169–174. doi:10.1016/0038-0717(78)90092-5.
- de Souza JT, Weller DM, Raaijmakers JM. 2003. Frequency, diversity, and activity of 2,4-diacetylphloroglucinol-producing fluorescent *Pseudomonas* spp. in Dutch take-all decline soils. *Phytopathology*. 93(1):54–63. doi:10.1094/PHYTO.2003.93.1.54.
- Thomashow LS, Weller DM, Bonsall RF, Pierson LS. 1990. Production of the antibiotic phenazine-1-carboxylic acid by fluorescent *Pseudomonas* species in the rhizosphere of wheat. *Applied and Environmental Microbiology*. 56(4):908–912.
- Thorup-Kristensen K, Magid J, Jensen LS. 2003. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. *Advances in agronomy*. 79:227–302.
- Timms-Wilson TM, Ellis RJ, Renwick A, Rhodes DJ, Mavrodi DV, Weller DM, Thomashow LS, Bailey MJ. 2000. Chromosomal insertion of phenazine-1-carboxylic acid biosynthetic pathway enhances efficacy of damping-off disease control by *Pseudomonas fluorescens*. *MPMI*. 13(12):1293–1300. doi:10.1094/MPMI.2000.13.12.1293.
- Tomihama T, Nishi Y, Mori K, Shirao T, Iida T, Uzuhashi S, Ohkuma M, Ikeda S. 2016. Rice bran amendment suppresses potato common scab by increasing antagonistic bacterial community levels in the rhizosphere. *Phytopathology*. 106(7):719–728.
- Travisano M, Lenski RE. 1996. Long-term experimental evolution in *Escherichia coli*. IV. Targets of selection and the specificity of adaptation. *Genetics*. 143(1):15–26.
- UMN Extension. 2018a. Herbicides. [accessed 2018 Dec 13]. <https://extension.umn.edu/weed-management/herbicides>.
- UMN Extension. 2018b. Corn pest management. [accessed 2018 Dec 13].

<https://extension.umn.edu/corn/corn-pest-management>.

USDA-NRCS. 2018. Web Soil Survey. [accessed 2018 Nov 28]. <https://websoilsurvey.sc.egov.usda.gov/App/WebSoilSurvey.aspx>.

Vidaver AK, Mathys ML, Thomas ME, Schuster ML. 1972. Bacteriocins of the phytopathogens *Pseudomonas syringae*, *P. glycinea*, and *P. phaseolicola*. *Canadian Journal of Microbiology*. 18(6):705–713.

Wang J, Bakken LR. 1997. Competition for nitrogen during mineralization of plant residues in soil: microbial response to C and N availability. *Soil Biology and Biochemistry*. 29(2):163–170.

Wickham H. 2016. *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. New York: Springer-Verlag.

Wiggins BE, Kinkel Linda L. 2005a. Green manures and crop sequences influence alfalfa root rot and pathogen inhibitory activity among soil-borne streptomycetes. *Plant and Soil*. 268(1):271–283. doi:10.1007/s11104-004-0300-x.

Wiggins BE, Kinkel L. L. 2005b. Green manures and crop sequences influence potato diseases and

pathogen inhibitory activity of indigenous streptomycetes. *Phytopathology*. 95(2):178–185. doi:10.1094/PHYTO-95-0178.

Wilke CO. 2016. cowplot: streamlined plot theme and plot annotations for “ggplot2”. R package version 0.7.0.

Wright JM. 1956. The production of antibiotics in soil. *Annals of Applied Biology*. 44(3):461–466. doi:10.1111/j.1744-7348.1956.tb02140.x.

Yabe S, Sakai Y, Abe K, Yokota A. 2017. Diversity of Ktedonobacteria with actinomycetes-like morphology in terrestrial environments. *Microbes Environ*. 32(1):61–70. doi:10.1264/jsme2.ME16144.

Zhang B, Gao Q, Xu S, Ma L, Tian C. 2016. Long-term effect of residue returns and fertilization on microbial biomass and community composition of a clay loam soil. *The Journal of Agricultural Science*. 154(6):1051–1061. doi:10.1017/S0021859615001008.

Zhu S, Vivanco JM, Manter DK. 2016. Nitrogen fertilizer rate affects root exudation, the rhizosphere microbiome and nitrogen-use-efficiency of maize. *Applied Soil Ecology*. 107:324–333. doi:10.1016/j.apsoil.2016.07.009.

THEMES DIVERS : COVID-19

Analyse comparative de l'impact du COVID-19 par branche d'activité des industries au Mali en date du 10 Mars 2021

Lassana Touré^{1*}, Moulaye Touré², Tidiane Diarisso¹, Atoumane Diagne³

¹Université de Ségou, CERAD, Mali

²Université des Sciences Sociales et de Gestion, Mali

³Université Cheikh Anta Diop, ENSAE, Sénégal

* Auteur correspondant : lassana.toure@mesrs.ml

RÉSUMÉ : Cet article traite l'impact du COVID-19 sur les sous-secteurs des industries en analysant l'évolution de la production industrielle et du chiffre d'affaires au Mali. Le nombre de cas testés positifs du COVID-19 est environ de 8800 personnes et le nombre de décès de 400 morts en fin mars 2021. La pandémie commence à se stabiliser dans le pays et partout dans le monde. Du côté de l'activité industrielle, après de fortes baisses en février (-9,4%), juin (-8,4%) et en mars (-2,4%), la production industrielle s'était fortement redressée en juillet (54,6%) et avril (16,7%). À la fin de l'année, le niveau de production était resté relativement stable (août-novembre) sauf pour décembre marqué par une baisse historique de 11% en glissement annuel. Cette croissance industrielle ralentie marque le début de profondes conséquences sur les branches d'activité des industries. C'est ainsi que l'indice du chiffre d'affaires a été en chute libre durant toute l'année 2020 avec notamment une forte baisse de 44% en mai 2020. L'indice de la production industrielle est réduit de 6% entre juin et décembre 2020. On peut dire que la crise sanitaire a eu son impact sur le niveau de la production industrielle surtout durant le second semestre 2020. Les sous-secteurs industriels les plus impactés négativement sont la production des produits métallurgiques de base, des machines et appareils électriques n.c.a., des autres produits minéraux non métalliques, des Industries manufacturières, des produits textiles, des produits à base de tabac, des produits de l'édition, de l'imprimerie et supports enregistrés, la production du papier, carton et articles en papier et en carton, et la production d'Énergies. Seules semblent s'en sortir les branches d'activité telles que la production de caoutchouc et matières plastiques, la production de cuirs et articles de voyage et de maroquinerie, la production d'eau et la production des produits chimiques. Par rapport à la période 2010-2019, la crise de Covid-19 a affecté les différents sous-secteurs industriels de manière beaucoup plus drastique et sévère (29% de baisse en décembre 2020 comparé aux années précédentes).

Mots-clés : pandémie de Covid-19, crise mondiale, industries, branches d'activité, impact

I. INTRODUCTION

A la date du 10 mars 2021, selon les données de l'Université d'Oxford, la maladie à coronavirus 2019 (COVID-19) est ancrée sur les populations causant 2,6 millions de morts et 119 millions de contamination. Cette épidémie a touché tous les continents dont l'épicentre est mobile et tournant (Amérique du Nord : 34 millions de cas avérés et 783 mille morts, Amérique du Sud : 19 millions de cas avérés et 488 mille morts, Europe : 36 millions de cas avérés et 845 mille morts, Asie : 26 millions de cas avérés et 407 mille morts, Afrique : 4 millions de cas avérés et 107 mille morts, Océanie : 52 mille cas avérés et mille morts). En effet, elle a commencé en Chine le 17 novembre 2019, mais est officiellement signalée par le gouvernement chinois au courant décembre 2019, avant de suivre le même chemin suivi par les déplacements internationaux (Europe et Amérique en janvier et février 2020). Le virus est éparpillé dès mars 2020 sur tout le reste de la planète. De nouvelles vagues connaissent le jour à chaque fois que l'espoir de la fin d'une telle épidémie renaît. La fin de l'année 2020 et le premier semestre 2021 ont montré qu'il est impératif d'user d'autres moyens de

lutte anti-COVID tels que la vaccination commençant d'ailleurs dans beaucoup de pays.

Car les conséquences du COVID-19 ont laissé les économies dans des situations terribles. Cette nouvelle crise sanitaire ne se limite pas aux grandes puissances mondiales mais met à terre les économies des pays en développement. Toutes les régions n'ont pas non plus été également atteintes (Amdaoud et al., 2020 ; Burlina and Rodriguez-Pose, 2020). L'Afrique et notamment le Mali n'est pas en reste, d'autant plus que ce sont des pays très dépendants de l'Occident qui est actuellement en situation de crise. A la date du 10 mars 2021, on compte au Mali 8710 cas avérés et 358 morts. De mars à décembre 2020, le nombre total de cas positifs ne cesse de s'accumuler. Pendant ce temps, l'indice du chiffre d'affaires a été en chute libre durant toute l'année 2020 (avec de fortes baisses au second semestre 2020). L'indice de la production industrielle a fini par reculer du fait de l'ampleur de la crise sanitaire.

La pandémie de COVID-19 est à l'origine d'une crise mondiale d'abord sanitaire et aussitôt socio-économique (Dobbins, 2020). En tant que telle, elle

se distingue des crises économiques comme la Grande Dépression ou la crise financière mondiale de 2008 (Johnstone et al., 2019), notamment parce qu'elle s'accompagne d'une baisse généralisée de l'activité dans différents pays du monde (Barrero, Bloom et Davis, 2020). Si la pandémie a affecté l'ensemble de l'économie mondiale, elle n'a pas concerné toutes les activités ni tous les systèmes nationaux de production de la même façon (Barrero, Bloom et Davis, 2020). Parallèlement, des industries 4.0 et des technologies liées à l'information et la communication ont joué un rôle de substitution important dans de nombreuses industries au plus fort de la crise (Cette et al. 2020). La Chine a su par exemple rebondir suite à cette crise, et se retrouve avec un taux de croissance économique de 2,3% en 2020 et une forte reprise de la production industrielle donnant lieu aux exportations massives (BM, 2021). La question que l'on se pose est de savoir : quels sont les sous-secteurs des industries au Mali les plus touchés par cette crise, et ceux qui en sont sortis victorieux ?

L'objectif de ce papier est de faire une analyse comparative de l'impact du COVID-19 sur les sous-secteurs des industries au Mali. Cette recherche permettra de voir comment remédier à ses contreperformances en fournissant les branches d'activité prioritaires pour la politique industrielle. Le plan qui sera suivi est décliné comme suit : une première section traitera la présentation de la zone d'étude, des sources de données et de la méthodologie adoptée ; dans une deuxième section, les résultats seront énoncés suivant la situation du COVID-19, la croissance de l'activité économique, la relation entre la pandémie et l'activité industrielle ; enfin, la conclusion formulée sera suivie des implications de politique économique.

II. Matériels et Méthode

2.1 Zone d'étude

Le Mali est un pays de l'Afrique de l'Ouest avec la spécificité d'être le pays le plus vaste Etat (superficie : 1,241 million km²) de la CEDEAO après le Niger. Pays membre de l'UEMOA, avec une population de 20 621 335 habitants en 2020 dont 49,92% de femmes et 50,08% d'hommes, le taux de croissance démographique est de 3,6%, le taux brut de scolarisation de l'enseignement secondaire s'élève à 41% alors que le taux de mortalité brut est estimé à 9,7 pour 1000 habitants en 2018. Ce qui lui donne une espérance de vie à la naissance de 58,9 ans en moyenne. Le taux de fécondité reste très élevé avec 5,9 enfants par femme (INSTAT, 2021 et BM, 2021). La société qui comprend de nombreuses ethnies a conservé ses cultures traditionnelles et certains sont nomades ou semi-sédentaires. Chaque groupe ethnique a développé ses propres activités. L'artisan par exemple est vu comme une personne aisée.

L'économie malienne est essentiellement rurale (57% de la population sont en milieu rural) et est dominée par le secteur agricole. Ce secteur fait travailler 80% de la population active et contribue environ au tiers du PIB (37%), de même que le secteur des services. Il est cultivé dans ce pays les céréales que sont le mil, le sorgho, le riz, le maïs, le fonio, le blé, etc. et aussi quelques tubercules tels que l'igname, la pomme de terre et le manioc, à côté de la production fruitière et maraîchère (les bananes, les mangues et les oranges). Le coton est la principale culture de rente et représente une bonne partie des exportations. La filière coton est une source de revenu de beaucoup d'agriculteurs mais les cours mondiaux du coton demeurent faibles et instables ces dernières années. D'ailleurs, les exploitations agricoles produisent le coton à perte (Touré, Konipo & Diagne, 2020) et ceci depuis la chute du cours international du coton en 2005. Le taux de rentabilité interne (TRI) est estimé à hauteur de 3% dans les zones CMDT en 2019, avec plus de la moitié des producteurs de coton ayant une activité financièrement non rentable (57%). L'or, le bétail, le fer et l'arachide constitue les autres principaux produits exportés et ils génèrent des richesses très remarquables pour les populations et l'Etat. Le Mali est pour rappel troisième exportateur africain d'or. La transformation industrielle des produits reste minime. C'est ainsi que l'activité industrielle qui est certes concentrée autour des activités agricoles se retrouve face à des difficultés liées notamment aux coûts de production exorbitants. Le tissu industriel n'est pas très développé (21% du PIB) et les entreprises sont confrontées aux importations des biens de consommation et d'équipement (INSTAT, 2021 et BM, 2021).



Figure 1. Localisation géographique de la zone d'étude

C'est pour ces raisons que la pauvreté et le chômage subsistent dans cette zone et que la croissance économique ne soit pas en mesure de parachever le développement économique et social. Le taux de pauvreté dépasse 42,1% avec un taux de chômage au

sens du BIT de 7,2% et le taux de croissance économique est de 4,8% en 2019 (INSTAT, 2021), ce qui lui donne un indice du développement humain (IDH) de 0,431 en 2019 (PNUD, 2021) et un indice d'inégalités de revenu (coefficient de Gini) de 0,506 en 2017 (WID, 2021). Pourtant, d'autres secteurs commencent à émerger tels que le commerce, les BTP, le tourisme, les transports et communications.

Ses principaux partenaires commerciaux sont le Sénégal, la Chine, la France, la Côte d'Ivoire, la Belgique, le Luxembourg, la Grande-Bretagne et l'Allemagne. Le Mali a fait l'objet de changement de pouvoir par l'armée en 2020 qui a fait écho au niveau des instances internationales et régionales. Il s'est retrouvé isolé et sans aide du reste du monde pour un certain temps, et cette situation ne date pas d'aujourd'hui (des coups d'Etat ont été observés dans le passé).

2.2 Source de données

Les données proviennent de quatre principales sources : la BCEAO, la Banque mondiale (BM) et l'INSTAT du Mali pour les données économiques (production industrielle, chiffre d'affaires, emploi), et l'Université d'Oxford pour les données liées au COVID-19 (nouveaux cas testés positifs, décès). Les données économiques couvrent la période 1999-2021 alors que les données du COVID-19 concernent uniquement les années 2020 et 2021.

2.1 Méthode

Selon l'INSEE, l'indice de la production industrielle reflète le niveau de production totale des industries. L'indice du chiffre d'affaires reflète le niveau des ventes totales des industries. Les principaux secteurs des industries ou branches d'activité sont : Industries extractives, Produits alimentaires, Produits textiles, Produits chimiques, Industries manufacturières, Produits à base de tabac, Cuirs et articles de voyage et de maroquinerie, Papier, carton et articles en papier et en carton, Produits de l'édition, de l'imprimerie et supports enregistres, Caoutchouc et matières plastiques, Produits métallurgiques de base, Production et distribution d'électricité, gaz et eau.

Nous avons utilisé des outils de statistiques descriptives et inférentielles tels que la moyenne, les fréquences, l'écart type et le coefficient de variation, les graphiques d'évolution, les tests de Student, d'ANOVA et de Tukey pour évaluer la situation de la crise sanitaire et comparer la croissance de l'indice de la production industrielle par branche d'activité. Pour l'indice du chiffre d'affaires, nous avons également comparé statistiquement les variations moyennes des indices par an.

Les tests de Student, d'ANOVA et de Tukey ont été utilisés pour comparer les niveaux de production moyens par période (2010-2019 et 2020-2021) et analyser l'ampleur de l'impact du COVID-19 sur les

industries. Le degré de reprise de l'activité est analysé en faisant le ratio entre les indices des mois de décembre et février 2020.

Le calcul des statistiques descriptives (fréquences, moyennes et écarts types) de chaque variable et les tests de comparaison de moyennes des indices ont été effectués avec les logiciels Microsoft Excel Version 2019 et STATA version 16.

III. RÉSULTATS

3.1 Situation du Covid-19

A la date du 10 mars 2021, le Mali compte 8710 cas testés positifs au COVID-19, 6452 guéris (soit un taux de guérison de 74%) et 358 décès (soit un taux de létalité de 4%). Sur la période avril 2020-février 2021, le nombre de nouveaux cas du COVID-19 par mois est de 759 en moyenne (soit 25 nouveaux cas avérés par jour), avec un minimum de 233 et un maximum de 2380, donc un coefficient de variation de 84%. Par contre, le nombre moyen de décès par mois est de 32 morts, un nombre qui varie entre 2 et 113 morts.

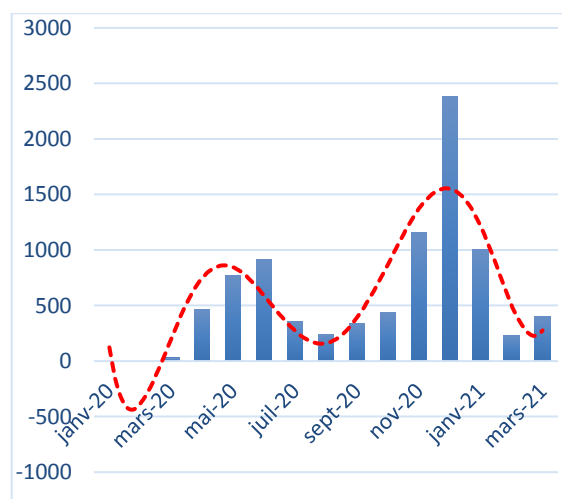


Figure 2. Evolution du nombre de nouveaux cas avérés du COVID-19 par mois (2020-2021)

Après son apparition sur le territoire malien en mars 2020, le nombre de nouveaux cas du COVID-19 par mois a commencé par une tendance haussière au premier semestre 2020 (avril 2020 avec 462 nouveaux cas, mai 2020 avec 775 nouveaux cas, juin 2020 avec 916 nouveaux cas). De juillet à octobre 2020, on note une baisse drastique des nouveaux cas (moins de 360 cas avérés par mois). C'est à la fin de l'année 2020 (novembre et décembre) que la situation s'est empirée avec même un pic atteint du nombre de cas journaliers (233 au 30 décembre 2020).

Cela s'expliquerait par la deuxième vague constatée en Europe qui se répercute aux anciens pays colonisés et dépendants de l'Occident. Depuis le début de l'année 2021, la tendance est à la baisse (1001 cas avérés en janvier, 285 cas avérés en février, 200 cas avérés en mars). Avec le démarrage des

vaccinations partout dans le monde à partir de novembre 2020, la situation du COVID-19 commence à se stabiliser en 2021. Cette tendance baissière mondiale fait que les pays comme ceux de l'Afrique se retrouvent dans des situations plus maîtrisées.

En plus de cela, le Mali a maintenu ces mesures de prévention (port du masque obligatoire, confinement partiel, test PCR requis pour entrer dans le pays, rassemblements de plus de 50 personnes interdits, restaurants et bars fermés).

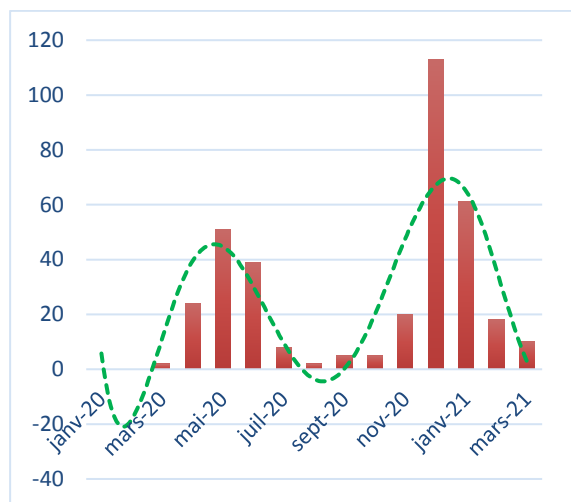


Figure 3. Evolution du nombre de décès dus au COVID-19 par mois (2020-2021)

L'évolution du nombre de décès dus au COVID-19 par mois est visuellement la même que celle du nombre de cas testés positifs. En effet, la tendance haussière au premier semestre 2020 est marquée par un nombre de décès mensuel de 38 morts en moyenne. Après une période morose de 4 mois (juillet-octobre 2020), la tendance haussière caractérise la fin de l'année 2020 (20 morts en novembre et 115 morts en décembre). De même que les cas testés positifs, le nombre de décès est en baisse depuis le début de l'année 2021 (janvier-mars).

3.2 Croissance de l'activité industrielle

La production industrielle est en baisse en février (-9,4%) et mars 2020 (-2,4%). Malgré cela, la bonne dynamique a relevé la production industrielle de 16,7% en avril 2020, ce qui est la plus forte hausse enregistrée sur l'année (voir Figure 4). Le mois de juin 2020 est marqué par un recul de la production industrielle, atteignant -8,4%, suivie d'une situation plutôt stable le reste de l'année (variation de la production industrielle inférieure à 4% en valeur absolue). Dans le même ordre d'idée, la production industrielle mensuelle de juillet et d'août 2020 a été réduite de 2%.

Au mois d'octobre 2020, on note une baisse de la production industrielle de 3,5%. En décembre 2020, la production industrielle a diminué de 3% par rapport au mois précédent. La baisse en décembre fait suite à une augmentation de la production industrielle en novembre de 3,1%.

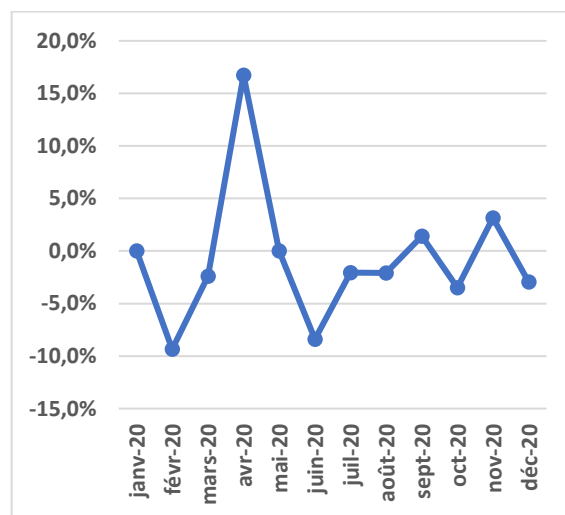


Figure 4. Croissance de la production industrielle en 2020

La figure 5 montre l'évolution de la production industrielle en 2020 pour l'ensemble de l'industrie et les principaux sous-secteurs industriels, à savoir les industries extractives, les produits alimentaires, les produits textiles, les produits chimiques, les industries manufacturières.

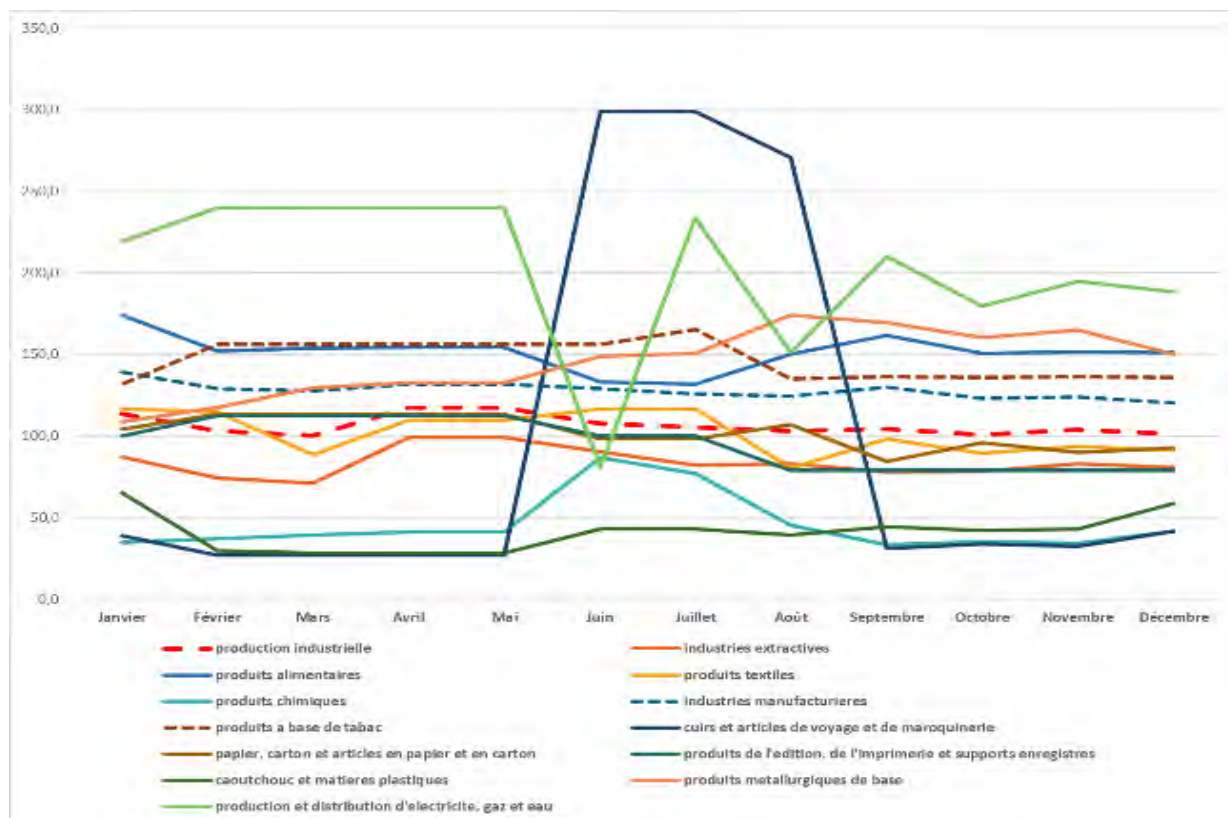


Figure 5. Evolution de la production industrielle en 2020 pour l'ensemble de l'industrie et les sous-secteurs industriels

3.3 Relation entre la pandémie et l'activité économique

La figure 6 montre l'évolution de l'indice du chiffre d'affaires de 2018 à 2020. L'indice du chiffre d'affaires a été en chute libre durant toute l'année 2020 avec notamment une forte baisse de 44% en mai 2020. Dans l'ensemble, l'indice du chiffre d'affaires est tombé en mai 2020 à un niveau qu'il avait déjà atteint dans les années 2012, soit un recul de 8 ans de développement industriel.



Figure 6. Evolution de l'Indice du chiffre d'affaires de 2018 à 2020

Le constat est le même pour l'indice de la production industrielle qui a une tendance baissière très nette de juin à décembre 2020 (voir Figure 7). L'indice de la production industrielle est réduit de 6% entre juin et décembre 2020. On peut dire que la crise sanitaire a eu son impact sur le niveau de production industrielle surtout durant le second semestre 2020.

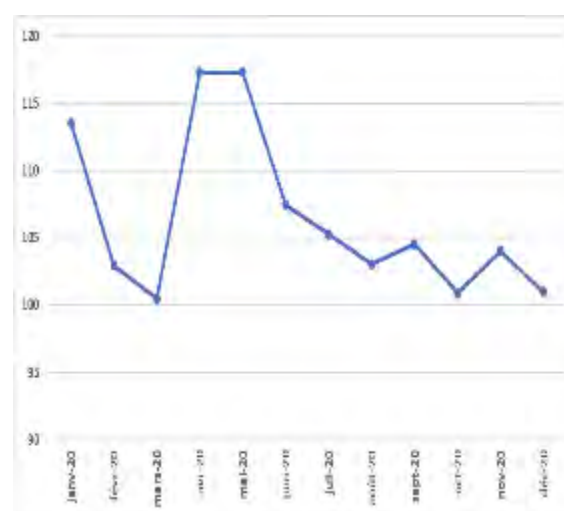


Figure 7. Evolution de l'Indice de la production industrielle en 2020

Le coefficient de corrélation entre l'indice de la production industrielle et le nombre de nouveaux cas du COVID-19 est de -14% sur la période mars 2020-mars 2021. Autrement dit, plus la crise sanitaire persiste dans le temps et plus est l'ampleur néfaste (effet négatif) sur l'activité industrielle. Ce même coefficient devient égal à 5% si l'on considère la relation entre l'indice de la production industrielle et le nombre de décès par mois. Le coefficient de corrélation entre l'indice du chiffre d'affaires et le nombre de nouveaux cas du COVID-19 (resp. le nombre de décès par mois) est quant à lui de -10% (resp. -24%). La pandémie a impacté négativement l'activité industrielle et les ventes du secteur en 2020. Les tests de Student, d'ANOVA et de Tukey révèlent qu'il y a une différence significative de l'indice du chiffre d'affaires entre 2019 et 2020 (P-value=0,000).

3.4 Degré d'impact du COVID-19 sur les industries

Dans ce pays, la production de Caoutchouc et matières plastiques a augmenté de 36,7% entre novembre et décembre 2020, la production de Cuirs

et articles de voyage et de maroquinerie a augmenté de 27,7%, la production des Produits chimiques de 21,5%, la production d'Eau de 5,6%, la production de Papier, carton et articles en papier et en carton de 3,1% (voir Tableau 1). Un des éléments d'explication est le fait que tous ces sous-secteurs industriels sont caractérisés par un approvisionnement en matières premières entièrement local (ou pouvant l'être).

La production des Industries extractives, des Produits alimentaires, des Produits textiles, des Minerais métalliques, des Produits à base de tabac, des Produits de l'édition, de l'imprimerie et supports enregistrés, des Machines et de matériel n.c.a. sont restées presque stables (moins 3% en valeur absolue).

De fortes baisses sont notées dans la production des Produits métallurgiques de base (-8,9%), des Machines et appareils électriques n.c.a. (-12,5%), des Autres produits minéraux non métalliques (-38,9%), des Industries manufacturières (-3,1%) et de la Production et distribution d'électricité, gaz et eau (-3,2% dont -4,4% pour les Energies).

Table 1. Taux de croissance pour différentes industries - décembre par rapport à février, juin et novembre 2020, données mensuelles, désaisonnalisées en %

	Juin/Feb.	Dec./Feb.	Dec./Juin	Dec./Nov
production industrielle	4,4	-1,9	-6,0	-3,0
industries extractives	21,4	8,4	-10,8	-2,7
produits alimentaires	-12,4	-0,7	13,4	-0,4
produits textiles	1,6	-20,3	-21,5	-2,4
produits chimiques	132,3	11,7	-51,9	21,5
minerais métalliques	21,4	8,4	-10,8	-2,7
industries manufacturières	-0,1	-6,9	-6,9	-3,1
produits à base de tabac	0,0	-12,9	-12,9	-0,1
cuirs et articles de voyage et de maroquinerie	1006,0	53,6	-86,1	27,7
papier, carton et articles en papier et en carton	-13,3	-18,0	-5,4	3,1
produits de l'édition, de l'imprimerie et supports enregistrés	-11,1	-29,9	-21,2	0,0
caoutchouc et matières plastiques	46,0	99,0	36,3	36,7
autres produits minéraux non métalliques	8,2	-50,4	-54,1	-38,9
produits métallurgiques de base	26,5	27,7	1,0	-8,9
machines et de matériel n.c.a.	-16,1	-48,7	-38,9	-1,6
machines et appareils électriques n.c.a.	150,0	75,0	-30,0	-12,5
meubles, activités de fabrication n.c.a.	0,0	0,0	0,0	0,0
production et distribution d'électricité, gaz et eau	-66,4	-21,4	133,7	-3,2
électricité, gaz, vapeur et eau chaude	-70,9	-16,8	186,0	-4,4
eau	-45,6	-42,4	5,7	5,6

Bref, la production industrielle a diminué de 3% en décembre 2020 après un accroissement de 3,1% en novembre. Le niveau de production industrielle est pratiquement le même entre janvier et mai 2020 (seulement 3,3% de hausse). La production industrielle a baissé de 8,4% en juin 2020 par rapport à mai 2020, et elle est restée à ce niveau de production le reste de l'année. En glissement annuel, une baisse de 11% est observé en décembre 2020.

Cependant, la croissance globale depuis avril 2020 n'a généralement pas été suffisante pour récupérer toutes les pertes pendant la phase la plus aiguë de la crise Covid-19 (octobre-décembre 2020). Malgré la récente baisse de décembre 2020, le niveau de la production totale est à nouveau assez proche du niveau d'avant la crise. Au total, l'activité de production industrielle en décembre 2020 avait retrouvé 98% de son niveau d'avant la crise (février).

La perte totale de production industrielle entre février et décembre s'élève donc à 2% (voir Figure 8). Ainsi, entre février et décembre 2020, la production industrielle a chuté de 1,9%.

La figure 8 montre le degré de reprise pour la production industrielle et les différents sous-secteurs industriels. Le niveau général de reprise est de 98,1% pour l'ensemble de l'industrie. Sept sous-secteurs industriels (Industries extractives à 108,4%, Caoutchouc et matières plastiques à 199,0%, Produits chimiques à 111,7%, Minerais métalliques à 108,4%, Produits métallurgiques de base à 127,7%, Machines et appareils électriques n.c.a. à 175,0% et Cuirs et articles de voyage et de maroquinerie à 153,6%) ont retrouvé et dépassé largement le niveau de production d'avant la crise (février 2020).

Plusieurs autres sont déjà assez proches de la barre des 100%. La figure 8 montre également que la reprise a été relativement forte pour les Produits alimentaires (99,3%) et pour les Industries

manufacturières (93,1%) alors que les niveaux de production d'Energies (83,2%), d'Eau (57,6%), des Produits textiles (79,7%), des Produits de l'édition, de l'imprimerie et supports enregistrés (70,1%), du Papier, carton et articles en papier et en carton (82,0%), des Produits à base de tabac (87,1%), des Autres produits minéraux non métalliques (49,6%) et des Machines et de matériel n.c.a. (51,3%) sont toujours relativement faibles. En plus d'avoir des fournisseurs principalement en dehors du pays, tous ces sous-secteurs industriels ont en commun d'être les débouchés d'un secteur agricole réduit. Ce dernier a connu en 2020 des productions faibles ou parfois inexistantes. C'est le cas de la production de Coton qui a fortement diminué car les exploitations agricoles ont subi les préjudices de la crise sans possibilité de produire à profit. C'est ainsi que les industries alimentaires notamment les boulangers et les industries textiles se retrouvent confrontées à un approvisionnement en matières premières insuffisant, d'où leur faible degré de reprise en décembre 2020.

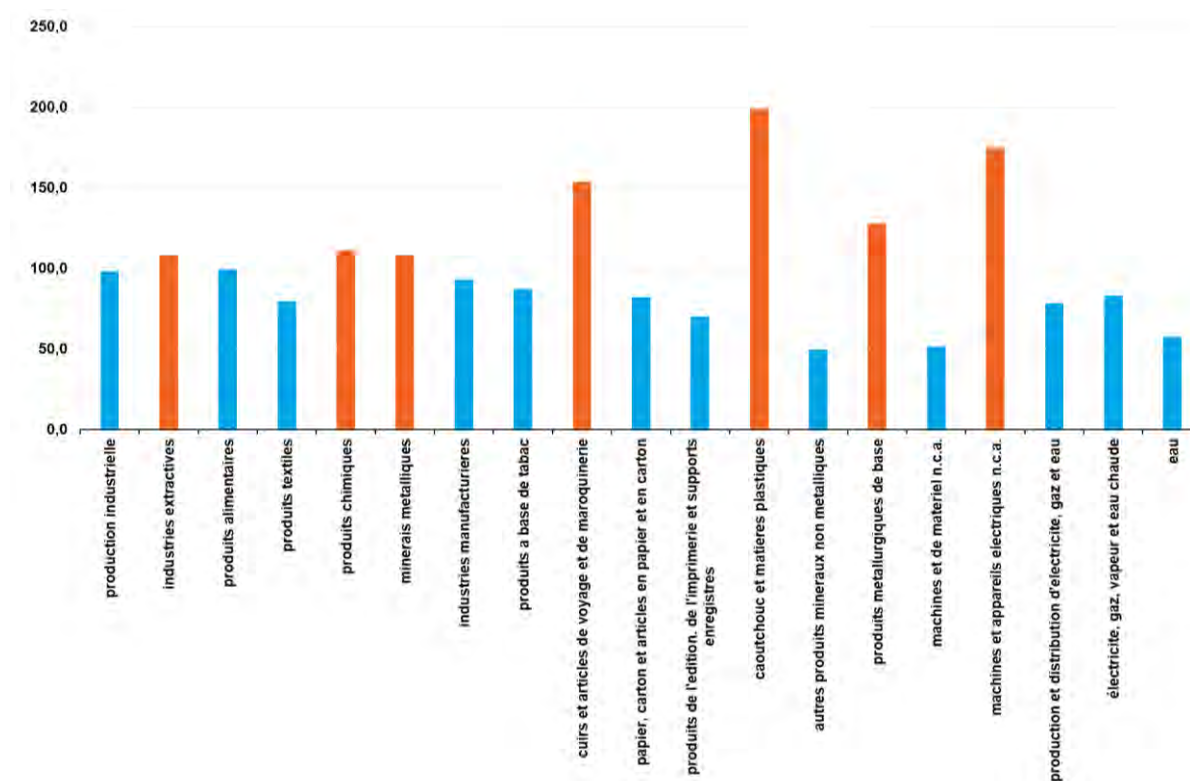


Figure 8. Production industrielle, part de la production de décembre en % de la production de février (2020), données mensuelles, désaisonnalisées

3.5 Comparaison par rapports aux années précédentes (2010-2019)

À titre de comparaison, la figure 9 montre comment les différents sous-secteurs industriels se sont développés en moyenne au cours des années 2010-2019. Pour rendre les différents niveaux d'indice comparables, toutes les années ont été re-référencées à une moyenne de 100. À l'exception de la production

d'Energies, des Produits métallurgiques de base et des Produits textiles, tous les sous-secteurs industriels voient habituellement une baisse entre janvier et mai et une certaine stabilité entre juin et octobre en raison du début des vacances d'été, les mois avec la plus forte croissance étant généralement novembre et décembre. Pendant la majeure partie de l'année (juin-octobre), les niveaux de production restent

relativement stables. Comme on peut le voir, les variations moyennes de la valeur de l'indice sont clairement inférieures à dix points de pourcentage entre juin et octobre.

Sur une même année en moyenne de 2010 à 2019, entre février et juin, la production de Produits textiles a la routine de reculer de près de 182 points d'indice (-87%), la production des Industries manufacturières de près de 119 points d'indice (-71%), la production de Produits chimiques d'environ 19 points d'indice (-16%) et la production d'Eau d'environ un tiers d'indice (-26%). Au même moment, la production de Cuirs et articles de voyage et de maroquinerie recule souvent d'environ 10 points d'indice (-9%) et la production de Caoutchouc et matières plastiques a l'habitude de chuter de près de 11 points d'indice (-12%). Au total, la production industrielle a été réduite de plus de 34 points d'indice (-28%). Malgré cela, quelques sous-secteurs ont l'habitude d'afficher une hausse du niveau de production industrielle (les

Industries extractives de près de 18 points d'indice soit 19%, les Produits alimentaires de près de 5 points d'indice soit 5%, les Minerais métalliques de près de 18 points d'indice soit 19%, les Produits à base de tabac d'environ 4 points d'indice soit 7%, le Papier, carton et articles en papier et en carton d'environ 11 points d'indice soit 12%, les Produits métallurgiques de base d'environ 4 points d'indice soit 15%, les Machines et appareils électriques n.c.a. de 60 points d'indice soit 78% et la production d'Energies d'environ 17 points d'indice soit 19%).

Ainsi, dans les premiers mois de la pandémie, d'avril à juin 2020, l'activité industrielle semble être moins impactée que ce qui était pressenti. Les politiques publiques mises en œuvre ont été à la faveur des industries pour un certain temps, avant que l'ampleur de la crise sanitaire devienne incontrôlable au second semestre 2020.

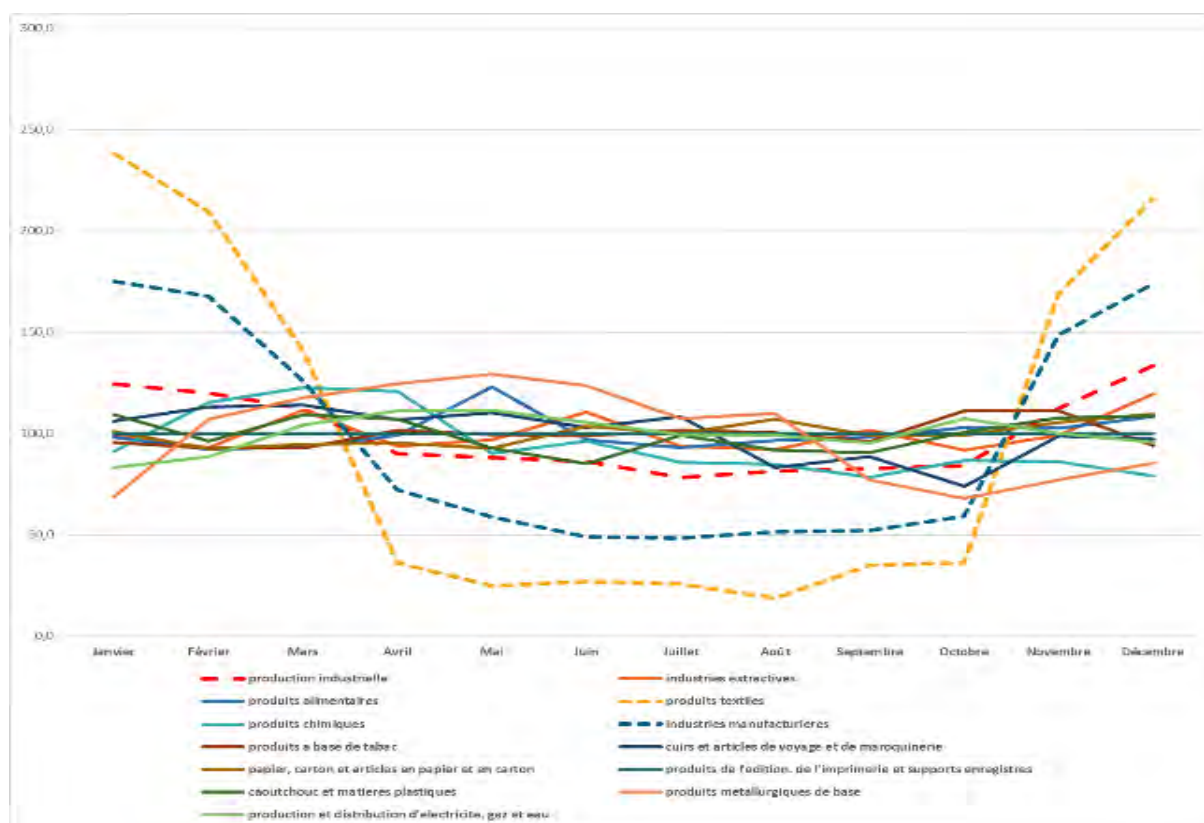


Figure 9. Evolution de l'indice de la production industrielle moyen sur la période 2010-2019

Par rapport à la période 2010-2019, la crise de Covid-19 a affecté les différents sous-secteurs industriels de manière beaucoup plus drastique et sévère : en seulement dix mois, entre mars et décembre 2020, l'indice de la production industrielle totale a chuté de 29% en décembre 2020 comparé aux années précédentes, l'indice des Produits textiles, des Industries manufacturières, des Autres produits minéraux non métalliques, des Produits à base de tabac, des Machines et de matériel n.c.a. ont été divisés par deux, les indices des Industries extractives, du Papier, carton et articles en papier et en carton, et des Produits de l'édition, de l'imprimerie et supports enregistrés ont baissé d'environ 20% comparé aux années précédentes. Seuls les Produits chimiques, la production de Caoutchouc et matières plastiques, les Produits métallurgiques de base, les Machines et appareils électriques n.c.a. et la production d'Eau n'en sont pas impactés avec des hausses de leurs indices de plus de 15% comparé aux années précédentes. Le même phénomène est constaté au mois de novembre 2020, avec presque tous les sous-secteurs industriels en déclin.

Les diminutions enregistrées durant le second semestre 2020 sont de loin les plus importantes baisses mensuelles enregistrées depuis le début de la série en janvier 1999, nettement supérieures aux pertes enregistrées à la fin de 2008 et au début de 2009, pendant la crise financière mondiale. C'est la première fois qu'une baisse mensuelle en décembre est enregistrée en cette année 2020 depuis le début de la série en janvier 1999.

IV. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Cet article a traité l'impact du COVID-19 sur les sous-secteurs des industries en analysant l'évolution de la production industrielle et du chiffre d'affaires au Mali. Le nombre de cas testés positifs du COVID-19 est environ de 8800 personnes et le nombre de décès de 400 morts en fin mars 2021. La pandémie commence à se stabiliser dans le pays et partout dans le monde. Du côté de l'activité industrielle, la production industrielle est réduite de 3% en décembre 2020 après une hausse de 3,1% en novembre. Auparavant, le niveau de production industrielle est pratiquement le même entre janvier et mai 2020 (3,3% de hausse). Le degré de reprise pour la production industrielle et les différents sous-secteurs industriels est relativement faible. Le niveau général de reprise est de 98,1% pour l'ensemble de l'industrie. En conséquence, la perte totale de production industrielle entre février et décembre s'élève à 1,9%. En glissement annuel, une baisse de 11% est observé en décembre 2020.

Cette croissance industrielle ralentie marque le début de profondes conséquences sur les branches d'activité des industries. C'est ainsi que l'indice du

chiffre d'affaires a été en chute libre durant toute l'année 2020 avec notamment une forte diminution de 44% en mai 2020. L'indice de la production industrielle est réduit de 6% entre juin et décembre 2020. On peut dire que la crise sanitaire a eu son impact sur le niveau de production industrielle surtout durant le second semestre 2020. Les sous-secteurs industriels les plus impactés négativement sont la production des Produits métallurgiques de base, des Machines et appareils électriques n.c.a., des Autres produits minéraux non métalliques, des Industries manufacturières, des Produits textiles, des Produits à base de tabac, des Produits de l'édition, de l'imprimerie et supports enregistrés, la production du Papier, carton et articles en papier et en carton, et la production d'Energies.

Seules semblent s'en sortir les branches d'activité telles que la production de Caoutchouc et matières plastiques, la production de Cuirs et articles de voyage et de maroquinerie, la production d'Eau et la production des Produits chimiques.

Par rapport à la période 2010-2019, la crise de Covid-19 a affecté les différentes branches d'activité de manière beaucoup plus drastique et sévère (29% de baisse en décembre 2020 comparé aux années précédentes).

Face à cela, les implications de politique économique qui en découlent pour les années à venir s'articulent autour de 3 points relatifs à une politique industrielle plus efficace :

1. Politique visant à améliorer la compétitivité des industries : La crise économique actuelle est provoquée par un facteur extérieur au système économique, pandémie de Covid-19. Elle génère à ce titre davantage d'incertitudes que les crises précédentes qui trouvaient leur cause immédiate dans un phénomène économique et/ou financier déterminé, telles que le krach de 1929 provoqué par l'effondrement de Wall Street ou encore la crise des sub-primes de 2008-2009 causée par les dérèglements sur le marché du crédit et le retournement du marché immobilier américain. Au Mali en seulement dix mois, entre mars et décembre 2020, l'indice de la production industrielle totale a chuté de 11% en décembre 2020. L'état devrait opter pour la baisse des impôts de productions ainsi que la subvention d'exploitation de certains produits. Ces impôts portant sur la valeur ajoutée sont accusés de peser sur la compétitivité des entreprises, industrielles notamment. Cela permettrait aussi d'être plus compétitif sur le plan des salaires en donnant plus de marge de manœuvre aux industriels. Et aussi, il devrait investir sur le financement des technologies émergentes, ainsi que des projets de recherche au sein d'établissements d'enseignement supérieur. L'innovation technologique est à même

de permettre aux industriels d'avoir une compétitivité à la hauteur de la crise.

2. Politique favorisant les outils de communication à distance : L'indice du chiffre d'affaires a été en chute libre durant toute l'année 2020 avec notamment une forte baisse de 44% en mai 2020, la situation reste encore floue et qu'il faudrait être vigilant face à l'incertitude de l'environnement du secteur industriel. Pour remédier à cette situation les industries avec l'aide des banques pourraient investir dans la communication à distance. Cet investissement permettra donc aux industries maliennes d'assurer le passage au numérique afin de mieux s'adapter à ce contexte de crise et d'envisager une relance solide. Cette politique de mise en place de l'industrie 4.0 adossée aux technologies numériques est l'unique chance pour ce pays d'atteindre plus rapidement le développement industriel.

3. Politique portant sur la diversification de la production industrielle : Les sous-secteurs industriels qui s'approvisionnent sur le marché local ne sont pas impactés par la crise sanitaire. Par contre, les branches d'activités les plus dépendantes du secteur agricole sont fortement impactées négativement. Ce qui est à l'origine des baisses d'activités des industries. Il faudrait ainsi penser à booster les sous-secteurs résilients en première position. C'est notamment le cas des métiers artisanaux comme la cordonnerie, la chaudronnerie, la tôlerie, les artistes peintres, les ébénistes, les fleuristes, et des transformateurs de caoutchouc et matières plastiques. Cette diversification de l'économie donnerait à long terme plus de poids du secteur industriel sur le PIB et des revenus futurs plus sûrs. En outre, l'agro-business devrait être réformé en trouvant les moyens de financer le secteur agricole dans un premier temps, puis soutenir les industriels dans des investissements privés lourds.

Au sortir de ces investigations, il s'avère nécessaire de mettre à jour les informations sur les effets de la crise du Covid-19 non seulement sur la production industrielle, mais sur la construction, le commerce et les services dans les recherches futures.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Centre d'Expertise et de Recherche Appliquée au Développement (CERAD) pour l'aide fournie pour cette étude, et à travers lui, le rectorat de l'Université de Ségou.

REFERENCES

Adolph, C., Amano, K., Bang-Jensen, B., Fullman, N., & Wilkerson, J. (2020). Pandemic politics: Timing state-level social distancing responses to COVID-19. medRxiv Working Paper.

<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.03.30.20046326v1.full.pdf>.

Amdaoud M. Arcuri G. et Levratto N., Succuro M. et Costanza D. (2020) Geography of COVID-19 outbreak and first policy answers in European regions and cities. Préprint: <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-03046489>.

Barrero, J., Bloom, N., & Davis, S.J. (2020) COVID-19 is also a reallocation shock. NBER Working Paper #27137. <https://www.nber.org/papers/w27137.pdf>.

BCEAO. (2021). Banque de données économiques et financières de l'UEMOA, <https://www.bceao.int/fr/content/la-base-des-donnees-economiques-et-financieres> consulté le 20 janvier 2021.

BM. (2021). Base de données de la Banque mondiale, <https://donnees.banquemondiale.org/indicator>.

Burlina, C. and Rodriguez-Pose A. (2020) Institutions and the Uneven Geography of the First Wave of the COVID-19 Pandemic. CEPR Discussion Paper No. DP15443, https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3737576.

Cette G., Nevoux S. et Py L. (2020) Digital technologies: a source of a productivity rebound? EcoNotepad, n°194. <https://blocnotesdeleco.banque-france.fr/en/blog-entry/digital-technologies-source-productivity-rebound>.

Dobbins, T. (2020). COVID-19 and the Past, Present and Future of Work. Futures of Work, Issue 13, 5th May. Bristol: Bristol University Press. <https://futuresofwork.co.uk/2020/05/05/covid-19-and-the-past-present-and-future-of-work/>.

Gubert, F. (2020). COVID-19 : double peine économique en vue pour les pays en développement, Institut de recherche pour le développement (IRD), <https://theconversation.com/covid-19-double-peine-economique-en-vue-pour-les-pays-en-developpement-136480> consulté le 10 mars 2020.

Guerini, M., Nesta L., Ragot X. et Schiavo S. (2020) Dynamique des défaillances d'entreprises en France et crise de la Covid-19, OFCE Policy Brief, n° 73, <https://www.ofce.sciences-po.fr/pdf/pbrief/2020/OFCEpbrief73.pdf>.

Hale, T., Angrist, N., Kira, B., Petherick, A., Phillips, T., & Webster, S. (2020) Variation in government responses to COVID-19. Oxford: BGS Working Paper Series.

https://www.bsg.ox.ac.uk/sites/default/files/2020-04/BSG-WP-2020-032-v5.0_0.pdf.

INSEE. (2019). L'indice de la production industrielle en base 2015, Insee Méthodes n°133 – juillet 2019 : <https://www.insee.fr/fr/information/4186908>.

INSTAT-Mali. (2021). Statistiques officielles du Mali, <https://www.instat-mali.org/fr> consulté le 20 janvier 2021.

Johnstone, S., Saridakis, G., & Wilkinson, A. (2019). The Global Financial Crisis, Work and Employment: Ten Years On. *Economic and Industrial Democracy*, 40(3), 455–468.

Klein, A., Smith, E. (2021). Explaining the Economic Impact of COVID-19: Core Industries and the Hispanic Workforce. 1-18 :

https://digitalscholarship.unlv.edu/brookings_policybriefs_reports/2.

PNUD. (2021). Données sur le développement humain, <http://hdr.undp.org/en/content/database>.

Touré, L., Konipo, O. & Diagne, A. (2020). Analyse de la rentabilité économique et financière de la production cotonnière au Mali, *Revue Scientifique Biennale de l'Université de Ségou*, ISSN : 1987-1120 ; Volume 01 ; Issue 2, 1-28.

Université d'Oxford. (2021). Données sur le COVID-19, <https://www.ourworldindata.org/coronavirus-source-data> consulté le 20 janvier 2021.

WID. (2021). Données sur les inégalités de revenu et de capital dans le monde, <https://wid.world/fr/accueil/>.

Évaluation de la pratique des mesures barrières contre la Covid 19 : enquête auprès de la population de Bamako

Aminata KANE¹, Mohamadou ADAMOU^{1*}, Balla DIANKA¹ ; Abdoul Razakou DICKO² ; Boubacar NOUHOU¹ et Fassé SAMAKE¹

¹Institut des Sciences Appliquées/Université des Sciences des Techniques et des Technologies de Bamako

³Centre de Santé de Référence de la Commune IV de Bamako

*Auteur correspondant : adamou14@outlook.com

RESUME : La maladie à coronavirus est une maladie infectieuse provoquée par un virus, en ce jour, peu connu. Au début de la pandémie, à cause de l'absence de traitements curatifs et préventifs efficaces des mesures d'atténuation de la propagation (mesures barrières) de la maladie ont été identifiées et recommandées.

Le but de cette étude est d'apprécier la pratique des mesures barrières contre la propagation de la maladie du coronavirus à Bamako à travers une étude descriptive. Une enquête a été réalisée auprès de la population dans les six (06) communes du district de Bamako.

Au total, 120 personnes ont été interrogées, 64 personnes sont de sexe masculin (53,3%) et les 56 autres sont de sexe féminin. Les personnes moins âgées questionnées avaient entre 10 à 20 ans. L'étude a révélé que 75% des interlocuteurs croyaient à l'existence de la maladie. Une frange de la population soutenait la théorie de la conspiration. Au total 114 personnes (soit 95%) connaissent les mesures barrières. Une partie (70%) des interviewées disent respecter lesdites mesures. Les risques sanitaires et économiques sont les plus perceptibles parmi les risques de la pandémie à Bamako selon respectivement 77,5% et 67,5% des populations.

Mots clés : Pratique, mesures barrières, Covid -19, enquête, Bamako

INTRODUCTION

La maladie à coronavirus (COVID19) est une maladie infectieuse due à un coronavirus qui a été découvert récemment (Who, 2019). C'est une maladie qui a été découverte pour la première fois en Chine dans la ville de Wuhan. Elle est provoquée par un coronavirus nouveau qui n'avait jamais été vu chez l'humain [1].

Le virus peut provoquer des infections des voies respiratoires inférieure et supérieure en plus de la possibilité d'une gastro-entérite. Cependant on attribue un pourcentage non négligeable de rhume banal au covid-19 chez les humains adultes surtout en hiver et au début du printemps [2].

Il touche désormais plus de 180 pays, c'est la raison pour laquelle elle a été déclarée urgence de Santé Publique de portée Internationale (USPP) par le Directeur Général de l'OMS au regard de la propagation rapide de cette épidémie [3].

L'Afrique est de plus en plus touchée par le nouveau coronavirus. Le premier cas de covid-19 en Afrique est apparu en février 2020 en Égypte. Le 14 juillet 2020, le continent africain comptait 9691 décès confirmés et 183.421 guérisons pour 383.747 cas enregistrés (OMS, 2020). A la date du 26 janvier 2021, le nombre total de cas de la maladie à coronavirus confirmés en Afrique était de 3.476.873 avec 86.965 cas de décès [4].

Le Mali à la date du 15 août 2020 comptait 2614 cas de personnes testées positives à la covid-19, dont 1986 guéries et 125 décès [2]. Pendant la journée du 26 janvier 2021, 11 cas de covid-19 confirmés et 3 décès ont été enregistrés au Mali. La situation cumulée ce jour était de 8006 cas positifs ; 327 décès et 5764 guéris avec un nombre de personnes-contact estimé à 1723 [5].

La crise pandémique du coronavirus ne guette pas une race, une religion ou une couleur en particulier. Celui qui est menacé est bien l'espèce humaine dans sa totalité. C'est une guerre d'un contre tous [5].

Le virus n'épargne personne. Parmi les personnes célèbres victimes de la maladie à covid-19 dans le monde on peut citer : Liang Wudong (premier médecin emporté par la maladie), Rose Marie Compaoré (femme politique Burkinabé), Aurlus Mabélé (Musicien), Manu Dibango (Saxophoniste), Belco Bah (homme politique malien), Mohamed Ben Omar (homme politique nigérien), Jerry Rawlings (ancien président ghanéen), Pierre Buyoya (ancien président de Burundi) et Soumaila Cissé (homme politique malien) pour ne citer que ceux-ci.

Pour lutter contre la maladie, de nouveaux vaccins sont en train d'être essayés et le traitement est fait par les médecins selon les différents stades de la maladie à l'aide de molécules comme Hydroxychloroquine, Dexaméthane, Interféron alpha-2b, Calquence, etc. [6].

Les différents moyens employés pour lutter contre cette maladie depuis son apparition restent moins efficaces à l'exception des gestes (mesures) barrières qui permettent de préserver la santé des humains face à la maladie. Les mesures barrières sont des gestes ou comportements simples individuels et collectifs susceptibles de ralentir la propagation et de stopper la pandémie de Covid-19 [7].

Au Mali, pendant les mois de mai et juin 2020, parmi les gestes barrières, le lavage des mains demeure le comportement de limitation et de prévention le plus appliqué par neuf ménages sur dix [7].

2. METHODES ET MATERIELS

Il s'agissait d'une étude descriptive qui a été initiée pour évaluer la pratique des gestes barrières contre le coronavirus.

La principale méthode a consisté à la réalisation d'une enquête auprès de la population des communes urbaines du district de Bamako.

2.1. Enquête descriptive

L'enquête s'est déroulée du 23 juillet au 24 août au niveau des six communes du district de Bamako. Des questionnaires ont été élaborés pour collecter les informations auprès de personnes ciblées de façon aléatoire.

Toutes les personnes en mesure de répondre aux différentes questions ont été concernées par cette enquête sans exclusion de sexe, de race, d'âge.

L'enquête s'est déroulée dans les rues, les marchés, les lieux de culte et de loisir, dans les écoles et universités du district de Bamako. Le nombre de personnes interviewées a été de 120 soit 20 par commune.

2.1.1 Description du questionnaire

Dans le questionnaire plusieurs rubriques ont été inscrites. Elles concernaient : les informations personnelles des personnes interrogées, leur connaissance de la covid-19, les mesures barrières, l'hygiène des mains, l'utilisation du mouchoir, le port de masque, la distanciation, les aspects socioculturels et le traitement de la maladie.

Malgré les efforts consentis pour l'éradication de la maladie, les populations pratiquent peu les gestes barrières. À Bamako et dans certaines villes du pays beaucoup de personnes ne voient pas l'utilité de la pratique des mesures barrières pour des raisons d'ordre religieux, culturel, social ou par ignorance. Et comme toute nouvelle maladie, elle est moins comprise par les populations.

Notre étude se propose de sonder le niveau de connaissance de la Covid 19 par la population de Bamako et d'apprécier la pratique des mesures barrières contre la propagation de la maladie du Corona virus par la population de Bamako.

Les données collectées étaient soit quantitatives (chiffre ou pourcentage) à choix multiple (indiquer un ou plusieurs chiffres correspondant à la réponse) ; soit sous forme de texte (indiquer les principaux points dont vous a parlé, la personne interrogée).

2.1.2 Analyse des données

Les informations recueillies ont été saisies, codées et analysées avec le logiciel SPSS (IBM SPSS Statistics 21.0).

Des tests de fiabilité ont été réalisés pour vérifier la qualité des informations saisies dans le logiciel (SPSS). Des analyses sous la forme de tableaux croisés et des analyses descriptives à partir des effectifs et en fonction des valeurs des données saisies ont été aussi réalisées.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Pendant cette étude un effectif de 120 personnes a répondu aux questions. Ainsi, 100% des réponses ont été obtenues. Les interviewés ont donné un ensemble d'informations leur concernant, concernant la connaissance de la Covid 19 et les aspects socioculturels concernant la Covid 19.

3.1 Informations personnelles

3.1.1 L'âge et le sexe des interviewés

Parmi les 120 personnes interrogées, 64 personnes sont de sexe masculin (53,3%) et les 56 autres sont de sexe féminin. En plus 28 personnes tous sexes confondus sont âgées de 41 à 50 ans. Les personnes moins âgées sont celles qui ont entre 10 à 20 ans et sont composées en majorité composées du sexe féminin.

Tableau 1 : Tableau croisé âges et sexe des interviewés

		Tranche d'âge selon le sexe						Total	Pourcentage (%)
		10 - 20	21 - 30	31 - 40	41 - 50	51 - 60	61 - 70		
Genre des interviewés	Masculin	6	24	15	14	5	64	53,3	
	Féminin	16	12	8	14	6	56	46,7	
Total		22	36	23	28	11	120	100	

3.1.2 Niveau d'études des interviewés en fonction du sexe

Les personnes interviewées, tous sexes confondus ont pour la plupart (42 personnes) un niveau d'étude secondaire. Parmi elles, les femmes représentent la majorité (25 personnes).

Les hommes ayant un niveau universitaire sont également majoritaires. Les femmes sont les plus nombreuses parmi les personnes non instruites interrogées.

3.2 Connaissance de la covid 19 et les mesures barrières

Par rapport à la connaissance de la maladie, les interlocuteurs affirment que la maladie se transmet par contact direct ou indirect entre personnes. La majorité déclare que les symptômes sont le rhume, la fièvre et que tous les lieux de rencontre sont désignés comme des sites de propagation de la maladie. Selon l'OMS, (2020) les symptômes sont la fièvre 99%, la toux 35%, la fatigue 70%, l'anorexie 84%, l'essoufflement 40% et les myalgies 35%. En effet,

les patients de covid-19 présentent toujours plusieurs symptômes, ce qui rend difficile le diagnostic de la maladie par les populations. Un test médical fiable est nécessaire pour une confirmation de celle-ci.

3.2.1 Croyance de la COVID 19

Par rapport à la question « croyez-vous à l'existence de la covid-19 », 75% des réponses sont à la faveur du « oui ». Le reste des interrogés ne croit pas à l'existence de la maladie malgré les communications sur les médias nationaux et internationaux.

Certains interlocuteurs pensent à une conspiration à cause du manque de connaissances de la maladie et de sa façon "foudroyante" de tuer les hommes. Dans la littérature nous avons constaté que dans beaucoup de pays des gens croyaient à cette idée de conspiration. Par exemple au Canada une enquête révèle que 35% des personnes interrogées estimaient que le gouvernement leur a caché des informations importantes à propos de la pandémie, 12% n'en savaient rien et 23% croyaient que le virus avait été créé au laboratoire (INSPQ, 2020).

Tableau 2 : données sur l'existence de maladie

Croyez-vous à l'existence de la Cov 19 ?					
		Effectifs	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulé
Valide	Oui	90	75,0	75,0	75,0
	Non	30	25,0	25,0	100,0
	Total	120	100,0	100,0	

3.2.2 Causes de la COVID 19

Les avis sur les causes de la maladie selon les habitants de la ville de Bamako sont partagés.

À peu près 55% des interlocuteurs affirment que la maladie est d'origine microbienne contre 9,2% qui soutiennent qu'elle est d'origine divine.

Certains habitants (22,5%) pensent à une théorie du complot alors que 13,3% des personnes interrogées n'ont pas voulu répondre à la question.

Tableau 3 : données sur la connaissance de la maladie

Connaissez-vous la cause de la maladie ?					
		Effectifs	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulé
Valide	Microbe	66	55,0	55,0	55,0
	Divine	11	9,2	9,2	64,2
	Complot	27	22,5	22,5	86,7
	Autres	16	13,3	13,3	100,0
	Total	120	100,0	100,0	

3.2.3 Mesures à prendre en cas de symptômes

Concernant les questions posées relatives aux mesures à prendre en cas de symptômes de la maladie, plusieurs réponses ont été consignées.

- la plupart des interrogés (31,7%) désire appeler les équipes d'intervention rapide (EIR) en cas de symptômes Covid 19. Ce geste est constaté au début de la pandémie où la méfiance et la peur étaient très fortes chez les populations.
- et 21,7% souhaitent se présenter dans un centre sanitaire en cas de symptômes,
- Seules 6,7% des personnes interrogées demandent de rester chez soi et d'appeler EIR.

Par rapport à l'automédication 116 personnes soit 96,7% des interlocuteurs défendent l'automédication. Une autre partie des interlocuteurs (24,2%) applique des mesures barrières en cas de symptômes. L'automédication à Bamako est moins soutenue à cause de la difficulté d'établir un diagnostic concret et à cause de la crainte d'aggraver la maladie.

3.2.4 Personnes les plus en risques

Les personnes susceptibles de contracter la maladie sont les personnes âgées (95,8%). Il s'agit notamment de personnes de plus de 65 ans et surtout celles de plus de 85 ans. Ces personnes sont susceptibles d'avoir un système immunitaire faible. Selon ONU, (2020) elles souffrent souvent de maladies sous-adjacentes comme diabète, maladie cardio-vasculaire, pulmonaire. Seuls 10% des interlocuteurs affirment que les enfants sont aussi des personnes en risque. Les adolescents et les adultes sont moins exposés à la maladie.

3.3 Respect des Mesures barrières

Un taux de 95% des personnes interrogées connaît les mesures barrières et 70% de ces gens disent respecter lesdites mesures. Beaucoup de personnes (70%) soutiennent la pratique des mesures barrières car elle reste la seule alternative pour éviter la maladie et le lavage des mains est le geste le plus banal que les gens adoptent.

Ceux qui ne respectent pas les mesures donnent comme raison le manque de gel et de masque de protection.

3.3.1 Lavage des mains

Parmi l'effectif interrogé 86,7% confirment se laver les mains. Le lavage des mains fréquent a pour but d'éliminer les microbes amassés sur les mains. La plupart des interviewés se lave les mains avec de l'eau et du savon. En effet, le lavage des mains demeure le comportement le plus appliqué par 90,4% des ménages. Au cours des mois de mai et de juin ce comportement était appliqué par 88,6% et

89,8% des ménages (INSTAT, 2020). En Côte d'Ivoire 82,3% de la population pratique le lavage des mains avec de l'eau et du savon. (INS, 2020).

3.3.2 Utilisation du gel

Concernant l'utilisation du gel, les résultats montrent que 65% des personnes interrogées utilisent le gel hydro alcoolique pour se désinfecter les mains. Cela est beaucoup constaté au niveau des services chez certaines personnes.

L'utilisation du gel dans les lieux de travail est fréquente. Cependant, pour des raisons financières le gel est peu utilisé par les personnes à faibles revenus. Notre étude a révélé qu'à Bamako les gens utilisent plus le gel hydro-alcoolique qu'en Côte d'Ivoire où seulement 47,2% des habitants utilisent les gels hydro-alcooliques (INS, 2020).

3.3.3 "Tousser dans le coude" et utilisation de mouchoir

Bien que traditionnellement l'usage de mouchoir ne fasse pas partie des habitudes des Maliens, avec la pandémie elle commence à prendre de l'ampleur. Ainsi, 53,3% des interlocuteurs utilisent actuellement le mouchoir. Tousser dans les coudes est une nouvelle pratique chez la population, 52,5% des réponses montrent que les habitants commencent bien à pratiquer ce geste barrière.

3.3.4 Distanciation et autres mesures

La distanciation n'est pas suivie selon 62,2% des réponses obtenues auprès des personnes. En Côte d'Ivoire 29,2% de la population respectent la distanciation ainsi et est plus appliquée par la population après le lavage des mains (INS, 2020). La plupart des interviewés (71,7%) pensent que le confinement est une meilleure solution.

Concernant les regroupements de personnes à caractère social, 71,7% des réponses obtenues sont en faveur de leur interdiction. Et la majorité des habitants (92,5%) affirment que le nombre maximum de personnes dans les lieux de rencontre doit être limité à 50 personnes.

3.3.5 Port de masques

Le port du masque est déclaré obligatoire dans toute l'étendue du territoire malien. Un grand nombre de citoyens (60%) à Bamako l'appliquent. Les plus jeunes (5-20 ans) sont ceux qui portent moins les masques.

Le port de masque au début de la pandémie n'a pas été aussitôt adapté. Il a fallu plusieurs mois et beaucoup de sensibilisations pour qu'il soit amplement porté par les populations (60%). La même situation a été constatée ailleurs, notamment au début du mois de mars 2020 au Canada où seuls 6% des gens disaient porter des masques hors de leur domicile, cette proportion a augmenté jusqu'à

atteindre 41% au mois de mai de la même année (INSPQ, 2020).

3.4 Aspects socioculturels liés aux mesures barrières

3.4.1 Don de moyens pour faciliter le respect des mesures barrières

Pour faciliter le respect des mesures barrières, les autorités ont fourni des moyens de protection à 59,2% de personnes interrogées.

Le moyen le plus distribué selon 69,2% des interlocuteurs est le masque. Les produits comme le savon et le gel ne sont pas très visibles parmi les produits de prévention donnés aux populations.

Une enquête au Mali révèle que 6,9% des ménages sont insatisfaits de la réponse du gouvernement face à la crise du coronavirus. La raison de non satisfaction la plus mentionnée demeure l'absence d'aide financière du gouvernement (79% contre 58,8% en juin), suivi de la réponse tardivement du gouvernement (INSTAT, 2020).

3.4.2 Fermeture des lieux de culte

Les résultats de notre étude ont révélé que 65% des personnes interrogées s'opposent à la fermeture des lieux de culte. Les raisons de l'abstinence de la fermeture des lieux de culte et surtout des mosquées sont multiples et ne sont pas clairement définies. Cependant dans la littérature, une étude a montré par exemple que les mosquées tiraient environ 60% de leurs ressources de la grande prière du vendredi et de la période du ramadan (OPECST, 2020).

3.4.3 Efficacité des mesures et les risques liés à la maladie

Par rapport à l'efficacité des mesures prises par le gouvernement du Mali, 55,8% des réponses montrent qu'elles sont efficaces.

Toutefois, l'efficacité des mesures barrières est difficile à évaluer car cela dépend de plusieurs facteurs ou plusieurs indicateurs. De même que les mesures barrières, les stratégies des gouvernements ne peuvent être considérées efficaces par les populations à partir d'une réduction des cas de décès ou la fin des contaminations.

Les risques sanitaires et économiques sont les plus perceptibles parmi les risques de la pandémie à Bamako selon respectivement 77,5% et 67,5% des populations. La pandémie a parallélisé toutes les activités humaines même les plus vitales. Concernant la fonctionnalité des centres de santé, 23% des centres de santé sont partiellement fonctionnels ou non fonctionnels (PH- Mali, 2020).

Sur le plan mondial la pandémie a eu également des impacts négatifs majeurs sur le plan sanitaire et surtout économique. Le monde a enregistré des milliers de victimes de la pandémie, la croissance

économique en 2020 a chuté d'à peu près de 5% (FMI, 2020).

3.5 Traitement

Par rapport à l'existence de traitements contre la maladie du covid-19, 65,8% des interlocuteurs ont répondu « non ». Et ils préconisent toutefois un traitement médical moderne en cas de maladie. Par contre au Québec environ 6% des interviewés croyaient en l'existence des remèdes maison (tisane) pour lutter contre la pandémie et 10% croyaient qu'ils existaient des médicaments pour prévenir ou guérir de cette maladie (INSPQ, 2020).

À Bamako, les avis sont différents par rapport à l'utilisation de la chloroquine pour le traitement de la maladie. Les croyances par rapport à un traitement accessible aux personnes pauvres sont également mitigées.

4. CONCLUSION

Bamako à l'image des autres villes du monde est confronté à la pandémie de Covid-19. La pratique des mesures barrières reste le moyen le plus efficace pour limiter les infections et les décès causés par la pandémie. Cette étude dont le but est de contribuer à appréhender le niveau du respect des mesures barrières dans la ville de Bamako a été riche en renseignements.

En effet, les résultats obtenus après l'enquête descriptive ont révélé que les malades de covid-19 présentent plusieurs symptômes, ce qui rend difficile le diagnostic de la maladie par les populations. Cependant, les avis sur les causes de la maladie sont partagés. La plupart des habitants connaissent ou ont déjà entendu parler des mesures barrières.

Les mesures barrières sont respectées par la majorité des habitants et le lavage des mains est la pratique (ou geste) la plus réalisée par les habitants. Le gel hydro- alcoolique est aussi utilisé pour la désinfection surtout dans les services privés et établissement publics.

Toutefois, un bon nombre d'interlocuteurs, pensent à une conspiration à cause de leur manque de connaissance de la maladie. La pandémie a eu des impacts négatifs majeurs sur le plan sanitaire et surtout économique dans la ville de Bamako et partout à travers le monde.

REFERENCES

[1] CDC, «sur la pandémie à coronavirus, organisation mondiale de la santé et Etats membres de l'union africain,» Bulletin d'information N°26 : , p. 8, 2020.

[2] MSAS, « Plan d'action pour la prévention et la réponse à la maladie à covid-19, Bamako-Mali,» p. 28, 2020.

[3] OMS, «Considérations relatives au placement en quarantaine de personnes dans le cadre de l'endiguement de la maladie coronavirus 2019,» ONU Info, p. 2, 2020a.

[4] bbc.com , «Coronavirus : suivi en direct des cas en Afrique à partir du 27/01/2021 12 :02 GMT,» Journal en ligne: URL : www.bbc.com, p. 1, 27 01 2021.

[5] I.-M. (2021), «suivi des actions de prévention et de riposte à la maladie à coronavirus,» Communiqué, 330, p. 2, 26 01 2021.

[6] D. J. M, «Coronavirus, risque globale et ordre mondiale, Rabat Maroc,» Policy Brief, p. 7, Avril 2020.

[7] C. J. M. C. Laurent P., « Covid : « le point sur l'actualité des vaccins et traitements dans le monde » », URL : www.sortiraparis.com/ Mis à jour le 25 janvier 2021 à 23h10 journal en ligne , 25 01 2021.

[8] OIT, «Prévention et limitation de la propagation de la COVID-19 sur les lieux de travail des petites et moyennes entreprises. Check-list des mesures à prendre et à suivre,» <https://www.ilo.org/> , p. 45, 2020.

[9] INSTAT, «Rapport mensuel de l'enquête sur l'impact de coronavirus sur les conditions de vie des ménages au Mali, p30,» INSTAT, Bamako, 2020.

La pratique sportive à l'épreuve de la pandémie du coronavirus au Mali

Youssef KARAMBE, Abdoulaye DOUMBIA
 Institut National de la Jeunesse et des Sports
 Email de correspondance : nandodalio@gmail.com

Résumé : La pandémie du COVID 19 a eu des effets néfastes sur la pratique sportive au Mali. Aussi bien que le sport de masse et le sport d'élite ont été durement touchés. Le sport de compétition a été marqué par des restrictions de plusieurs niveaux. Le premier niveau est la fermeture des stades, le deuxième niveau se caractérise par les rencontres à huis clos, le troisième niveau ce sont les cas d'affection au sein des équipes nationales, dont les conséquences ont des matchs de qualification perdus les équipes nationales et les clubs à cause des conséquences directes et indirectes de la pandémie. Concernant le sport de masse, la fermeture des centres sportifs et des stades et des écoles a provoqué l'arrêt de la pratique sportive pour ceux et celles qui s'étaient inscrits dans ces lieux. Dans certains cas, les pratiquants de sport de santé ont pris de poids, augmentant ainsi des risques pour leur santé, surtout les malades chroniques. Les promoteurs, les encadreurs de centres et salles de sport privés se sont trouvés au chômage temporaire, provoquant des crises familiales liées aux charges financières non assurées.

Introduction

Les conséquences de la pandémie de coronavirus ont durement touché la pratique sportive dans toutes ces dimensions et ces composantes sociales. En fermant toutes les infrastructures de pratique sportive, le sport de compétition tout comme le sport de masse se sont arrêtés, créant une crise dans la pratique sportive. Les conséquences immédiates et leurs impacts n'ont pas tardé à se faire sentir. L'équipe nationale devant défendre les couleurs nationales à Dakar a été prématurément éliminée en novembre 2020 de la compétition. Le sport de maintien a aussi eu un coup dur puisque les centres équipés pour mener des activités physiques et sportives ont été fermés pendant une longue période, laissant de nombreuses personnes luttant contre des maladies chroniques sans encadrement nécessaire. L'activité physique et l'entraînement sont considérés comme des piliers du maintien de la forme et de la santé. Être actif aiderait, selon les spécialistes à être en meilleure santé et à améliorer sa force. Plusieurs sont ceux et celles qui se donnaient le temps de mener une activité physique régulière les après-midis dans les dans les terrains de sport. Le cardiologue François Carré, professeur à l'université Rennes-1, a expliqué en quoi le sport peut "booster l'immunité" face au coronavirus. Il estime que « l'absence d'activité entraîne des risques de contracter des maladies infectieuses. L'activité physique est un moyen de booster l'immunité. Elle est un stress pour le corps. Cette activité déséquilibre l'organisme, la température corporelle monte, les muscles s'étirent, les fibres musculaires s'étiolent, le cœur bat plus vite, donc l'organisme est perturbé. En réponse à cela, le système immunitaire va se trouver lui aussi perturbé. Il s'habitue à travailler et une fois confronté aux microbes il va agir plus rapidement. Lorsqu'une infection comme la Covid19 arrive, les anticorps vont arriver plus vite. Ce qui explique pourquoi les sportifs de haut niveau contractent

moins de forme grave de la maladie. L'activité physique habitue notre corps à s'habituer à des situations inhabituelles pour nous. Cette même activité physique diminue également de 20 à 30 % les risques de cancer. Le corps humain est fait pour bouger. »

Le sport d'élite, un exemple d'impact de Covid19

Pour le Tournoi UFOA qualificatif à la CAN U20, prévue en Mauritanie, le protocole sanitaire de la CAF avait prescrit des tests COVID 19 pour tous les officiels et les membres de la délégation des équipes respectives, au plus tard 48 heures après les arrivées dans le sol du pays hôte. Une délégation malienne de l'équipe nationale de football arrivée à Dakar le 21 novembre 2020, avait été soumise aux prélèvements sanitaires des officiels. Deux jours plus tard, la sortie des résultats a montré que 15 membres parmi eux des joueurs, ont été testés positifs. Par conséquent, et au vu du règlement, le Mali n'a pas pu disputer la rencontre devant leur opposer à la Guinée-Bissau. Pire encore, les Aiglons du Mali ont perdu sur tapis vert. L'équipe nationale junior du Mali a perdu les matchs suivants du fait que les joueurs aient été testés positifs et certains membres de l'encadrement soumis en quarantaine, n'ont pas pu participer aux rencontres. Résultat final, le Mali a été éliminé à cause de la Covid19.

Le sport de masse ralenti

La santé est le bien le plus précieux de l'être humain. Très capitale, elle constitue l'une des richesses fondamentales de l'individu. Elle est aussi un indicateur de développement car sans la santé on ne peut parler de travail, sans le travail, il n'y a pas de production et sans la production, il est difficile d'envisager un quelconque développement. L'Activité physique est depuis très longtemps reconnue comme un facteur de la santé. Dans l'antiquité grecque, l'activité physique était

considérée comme une pratique de soin garantissant un mode de vie saine (Perrin C, all 2008). Dans le même ordre d'idée Jean Paul Callède (2019) estime que l'éducation pour la santé et les (APS) Activités Physiques et Sportives sont des domaines de préoccupation auxquels une attention particulière doit être observée.

De ce fait les vertus de la pratique régulière des activités physiques et sportives ne sont à démontrées. De nombreuses études ont révélé les multiples bienfaits des APS (US Department of Health and Human Services, 1996 et Bouchard, Shephard & Stephens, 1994). Aujourd'hui, la promotion des activités physiques et sportives apparaît comme un vecteur central des politiques de santé publique dans certains pays développés comme la Belgique, le Canada, les Etats unies, la Suisse, la France..., pour lutter contre les taux élevés de prévalence des maladies dites sédentaires. A ce titre, en France, le ministère de la santé, de la jeunesse, des sports et de la vie associative a mis en place un plan national de prévention par l'activité physique ou sportive (le ministère de la santé, de la jeunesse, des sports et de la vie associative 2017) afin d'encourager la pratique d'activités physiques auprès de la population.

Les maladies non transmissibles constituent désormais un problème de santé publique pour les pays en voie de développement. Et l'Afrique subsaharienne, avec 48 millions de diabétiques, concentre quelques tristes records : deux tiers des personnes atteintes de diabète ne sont pas diagnostiquées, près de 80 % des décès dus au diabète surviennent avant l'âge de 60 ans, les dépenses en santé pour la maladie sont les plus faibles au monde. Avec une prévalence régionale de 4,8 %, la maladie est déjà responsable de près de 9 % des décès et de nombreuses complications invalidantes. Il suffit d'une promenade dans Bamako pour constater que sa population n'est plus seulement en proie à la sous-nutrition, que l'obésité et le surpoids sont aujourd'hui des réalités frappantes. Et sous ces réalités bien visibles, s'installe, des maladies silencieuses que l'on pense encore trop souvent spécifique aux pays riches.

Ces vertus liées à l'activité physiques et sportives semblent être connues du grand public malien qui ne les cherche pas. Compte tenu de l'utilisation des moyens de transport qui n'exigent pas un effort physique, la vie urbaine à Bamako est caractérisée par la sédentarité où les adultes pratiquant une

activité physique d'entretien sont minoritaires. Dans une étude que nous avons menée en 2009 à Bamako, seulement 30% des adultes interrogés dans la commune VI avaient déclarés pratiquer une APS. Selon la Direction Nationale de la Santé (2008), 70,36% des adultes maliens ont un niveau faible d'activité physique; ils mènent une vie sédentaire. Par ailleurs, le modèle organisationnel du sport au Mali est plutôt favorable au sport de haut niveau. Les équipements sportifs les mieux entretenus par les autorités locales sont ceux dédiés aux sportifs de haut niveau. L'APS pour personnes adultes est laissée pour compte. Ces situations pourraient expliquer la prolifération des maladies liées à la sédentarité dont les maladies cardiovasculaires qui sont devenues un problème de santé publique au Mali. Depuis quelques années, le diabète et l'hypertension atteignent une propension inquiétante dans la pathologie hospitalière. L'hypertension représente à elle seule 43,9% des motifs de consultation cardiovasculaire à l'hôpital Gabriel Touré¹.

Avec l'avènement Covid-19 et vu la vitesse de transmission et de propagation, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a aussitôt émis des recommandations afin de réduire tous les rassemblements susceptibles d'amplifier la propagation du virus. Ceci a suscité, à mesure qu'évoluait la pandémie, une prise de conscience à l'échelle internationale et plus particulièrement dans le milieu sportif, incluant les fédérations, les organisateurs d'événements sportifs et même parmi les professionnels eux-mêmes. Les plus grandes manifestations sportives se retrouvent de facto reportées voire annulées, situation sans précédent dans le monde du sport.

Au Niveau National un certain nombre des dispositions prise par les hautes autorités au Mali ont influencé négativement sur la pratique des APS chez toutes catégories de pratiquants et plus particulièrement à Bamako. Ces mesures ont commencé par le couvre du couvre-feu décrété par le régime du président Ibrahim Boubacar Keita (IBK). Il allait du 25 mars au 09 mai 2020 de 21h à 05 h. Mais la mesure ayant de plus impacter la pratique sportive était la fermeture de tous les espaces sportifs. Cette fermeture a duré du mois de mars au mois de juillet 2020. Une enquête que nous avons menée a constaté les conséquences désastreuses dans un premier temps les promoteurs des centres de remise en forme se sont vu endettés pour le paiement du personnel et pour l'entretien de certains matériels et produit périssables. Les

¹ Abdoulaye DOUMBIA. Déterminants de la pratique des activités physiques et sportives par les adultes de Bamako, dans «Sport et développement durable en Afrique francophone », actes du colloque de l'INSEPS 2019, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal),

2019, Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé (Togo), Spécial 2019, Volume 21, Numéro 4, Spécial, P. 202, référencé dans African Journal on Line (AJOL) [www.inasp.org/ajol], ISSN 1727 – 8651.

enquêtés (pratiquants sportifs) qui étaient sous observation ont pour la plus part perdus les gains obtenus par la pratique des activités sportives. Ces pertes de gains étaient entre autres l'indice de masse corporelle (IMC), la pression artérielle, l'indice de glycémie, le bilan lipidique.

Les APS les plus pratiquées par les enquêtés sont la marche (32,7%) suivie du football (29,6%). Ce choix était lié au sexe et à la tranche d'âge. Le choix des hommes porte en premier lieu sur le football avec 34,9%, suivi de la marche 13%. Les femmes priorisaient la marche à 56,7% et la fitness dans les salles de gymnastique à 16,7%. Le troisième choix des deux sexes porte sur le footing avec 13% des hommes et 10% des femmes. Un autre constat est que plus on est jeune, plus la proportion des pratiquants du football augmente, 63,8% pour la tranche 20 - 29 ans, 30,1% pour les 30 - 39 ans. Subséquemment, la marche est l'activité favorite des plus âgés, 71,4% pour les 50-59 ans, 80% pour ceux de 60-69 ans et 100% pour les 70 ans et plus.

Conclusion

La pandémie du COVID 19 a fortement et négativement affecté la pratique sportive au Mali. Le sport de masse et le sport d'élite ont été durement touchés. Concernant le sport de compétition, les équipes nationales et les clubs ont perdu des matchs de qualification à cause des conséquences directes et indirectes de la pandémie. Le sport de masse a pris un coût à cause de la fermeture des infrastructures et installations sportives par les autorités maliennes. Cette fermeture des centres sportifs et des stades et des écoles a provoqué l'arrêt de la pratique sportive pour ceux et celles qui s'étaient inscrits dans ces lieux. Dans certains cas, les pratiquants de sport de santé ont pris de poids, augmentant ainsi des risques pour leur santé, surtout les malades chroniques. Les promoteurs, les encadreurs de centres et salles de sport privés se sont trouvés au chômage temporaire, provoquant des crises familiales liées aux financières non assurées.

Bibliographie

Bouchard, C., Rankinen, T., Chagnon, Y. C., Rice, T., Pérusse, L., Gagnon, J., Borecki, I., An, P., Leon, A. S., Skinner, J. S., Wilmore, J. H., Province, M., & Rao, D. C. (2000). Genomic scan for maximal oxygen uptake and its response to training in the HERITAGE Family Study. *Journal of Applied Physiology*, 88(2), 551- 559. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.2.551>

Callède, J.-P. (2019). Séquence 1. « Aujourd'hui, quel sport pour une bonne santé ? ». In *Sport et santé : Sortir des contradictions, apporter des solutions* (p. 51- 86). Maison des Sciences de l'Homme d'Aquitaine. <http://books.openedition.org/msha/8656>.

Centers for disease control and prevention. (1996). *Physical activity and health. A report of the surgeon general*. US Department of Health and Human Services, 278.

Direction nationale de la santé. (2005). *Système local d'information sanitaire : Profil du système de santé du Mali*.

La Pêche, "Contre le Covid-19, la pratique sportive n'est pas assez encouragée", selon le cardiologue François Carré - [ladepeche.fr](https://cdn.website-editor.net), <https://cdn.website-editor.net>, consulté le 14 mars 2021.

Mignon P., & Truchot G. Les pratiques sportives en France : Enquête 2000. (2018). In Ministère de la Jeunesse des Sports et de la Vie associative, Institut national du sport et de l'éducation physique, (Éds.), *Les pratiques sportives en France : Enquête 2000*. INSEP-Éditions. <http://books.openedition.org/insep/826>

Perrin, C., Champely, S., Chantelat, P., Sandrin, B., Mollet, E., Tabard, N., & Tschudnowsky, M. (2008). *Activité physique adaptée et éducation du patient dans les Réseaux Diabète français*. Sante Publique, Vol. 20(3), 213- 223.

Les mesures barrières de la covid-19 face au secteur de l'hôtellerie dans le district de Bamako au Mali

Kassoum Berthé et Pierre Soriba Sissoko
 Université des Lettres et des Sciences Humaines de Bamako
 kassberthe24@gmail.com

Résumé : Cette étude vise principalement à cerner les conséquences des mesures barrières de la COVID-19 sur le secteur de l'hôtellerie dans le district de Bamako. Elle vise surtout à analyser les conséquences des mesures barrières sous les angles socioéconomiques, professionnels et culturels sur le secteur de l'hôtellerie. Ce travail se structure en trois grandes parties. La première partie met l'accent sur les conséquences des mesures barrières sur la vie socioéconomique des employés et des employeurs des hôtels dans le district de Bamako. Les mesures barrières ont contraint les promoteurs d'hôtels à réduire les personnels employés dans les hôtels. Cette réduction est due à la faible fréquence de la clientèle à cause de la fermeture des frontières et les mesures de distanciation sociale. La deuxième partie fait le lien entre le développement du secteur de l'hôtellerie et le développement socioéconomique du pays. Elle essaie de comprendre l'impact du ralentissement des activités du secteur de l'hôtellerie en cette période de COVID-19 sur le développement socioéconomique du pays. La dernière partie montre des perspectives pouvant diminuer les conséquences des mesures barrières sur le secteur de l'hôtellerie en particulier et en général sur le développement socioéconomique du pays. Pour réaliser cette étude, nous avons opté pour l'approche qualitative dont la technique de l'entretien semi-dirigé a été appliquée lors de la collecte d'informations. Les informations ont été recueillies auprès des employés et des employeurs dans le secteur de l'hôtellerie à travers un guide d'entretien élaboré en fonction des objectifs de la recherche.

Mots clés : Covid-19, mesures barrières, hôtellerie, coronavirus, pandémie

Introduction

La maladie à coronavirus ou la COVID-19 est une maladie que vit le monde entier actuellement. « *C'est une nouvelle forme de Syndrome Respiratoire Aigu Sévère (SRAS). Elle est due à un nouveau virus coronarien, nommé COVID-19 qui est un virus à ARN (du latin, virus à couronne). La maladie serait apparue chez des clients du marché aux poissons de Wuhan (où l'on vend aussi des oiseaux, des serpents et des lapins).* » (Koné, A., Traoré, A. et Diallo, I., 2021, p.17). Cette maladie est considérée comme une pandémie grâce au fait qu'elle s'est rapidement propagée dans tous les pays ou presque.

Les premiers cas ont été détectés au Mali en Mars 2020 (Dabo, A., 2020, p.15 et Koné, A., Traoré, A. et Diallo, I., 2021, p.17). L'infection du virus a commencé le 25 mars 2020 avec deux personnes venues de France dans le même avion dont leurs destinations étaient respectivement la région de Kayes et celle de Koulikoro. Après quelques mois, cette maladie s'est propagée rapidement à travers le pays. Dans les trois dernières semaines du mois de mai 2020, la contamination de la maladie à coronavirus a connu une vitesse assez rapide au Mali. A la date du 7 mai 2020, les personnes touchées étaient au nombre de 650 contre 1194 personnes à la date du 29 mai de la même année (MSAS, 2020).

Ainsi, le Mali à l'instar des autres pays du monde a mis en place un ensemble de mesures pour couper la chaîne de transmission. Parmi ces mesures, on note la

fermeture de toutes les frontières aux voyageurs, un couvre-feu durant plus de deux mois, l'interdiction des rassemblements de plus de cinquante personnes et la fermeture des écoles sur l'étendu du territoire national (FAO, 2020, p.2). Par conséquent, ces mesures barrières ont fortement influencé négativement la vie socioéconomique des populations avec un accent particulier sur celles des zones urbaines. Les conséquences de ces mesures barrières sont nombreuses ; elles sont vécues de différentes manières par les populations selon leurs considérations sociales, économiques et spatiales qui influencent les conditions de vie. Quelles sont les conséquences de la COVID-19 sur le secteur de l'hôtellerie à Bamako ? Quelles sont les alternatives adoptées par les acteurs du secteur de l'hôtellerie pour atténuer les conséquences de la COVID-19 sur leur travail ?

De l'apparition de la pandémie à coronavirus, les études (articles, rapports), les débats, les échanges, etc. ont porté sur la contamination et les mesures barrières de cette pandémie. D'autres études (Diahou, A., Y., 2020, OMS, 2020, Danioko, A., 2020, MSAS, 2020) ont mis en exergue les conséquences de la COVID-19 et/ou les mesures barrières sur la vie socio-économique des populations en général.

Cependant, la présente étude a pour objectif de cerner les conséquences des mesures barrières de la COVID-19 sur le secteur de l'hôtellerie dans le district de Bamako. D'identifier les difficultés liées

au rendement économiques et celles liées à la gestion des ressources humaines dans ce secteur au moment de la COVID-19. Enfin nous analyserons le niveau de contribution du secteur de l'hôtellerie à l'économie nationale avant et pendant la COVID-19 et faire un bilan et perspectives.

1. Méthodologie d'enquête

Dans un premier temps, nous avons procédé à une fouille documentaire. Elle a porté sur des ouvrages, des articles, des rapports, des journaux, etc. qui ont un intérêt scientifique pour nous. Et enfin, il y'a eu une enquête de terrain. Dans cette phase, nous avons opté pour l'approche qualitative pour mieux cerner les conséquences des mesures barrières sur le secteur de l'hôtellerie.

1.1 Techniques de collecte des données

La technique utilisée dans le cadre de cette étude a été l'entretien semi-directif. Les entretiens ont été faits de façon individuelle en face à face afin qu'aucun comportement mimétique ou pression psychologique ne viennent parasiter le recueil d'informations. Au début des entrevues, nous prenons toujours le temps d'instaurer un climat de confiance, d'ex-pliquer les objectifs et la pertinence de notre recherche et nous leur garantissons la confidentialité de l'ensemble de leurs propos. Pour finir, nous leur demandons l'autorisation d'enregistrer l'entrevue.

Question par question, nous tâchons d'éclaircir les points sombres par des sous-questions pour ramener le répondant aux thèmes principaux si celui-ci s'écarte de l'objet de la recherche.

Cependant, il faut souligner que notre guide d'entretien n'a pas constitué un canevas rigide auquel il fallait impérativement coller. Nous avons fait preuve de souplesse et de flexibilité en laissant les interviewés parler sans les interrompre afin de prendre en charge des thèmes imprévus, mais pertinents pour notre étude.

1.2 Instruments de collecte de données

Nous avons élaboré un guide d'entretien en fonction des objectifs de notre étude. Ce guide est constitué en cinq sections. La première section enregistre les informations sur l'identité de l'enquêté (nom, prénom, âge, profession, niveau d'instruction, sexe, etc.). La section deux enregistre les discours sur les conséquences des mesures barrières de la COVID-19 sur les enquêtés dans leur secteur d'activité. Dans la section trois, nous avons enregistré des informations sur les alternatives adoptées par nos répondants afin d'atténuer les conséquences des mesures barrières de la COVID-19 sur leur vie socioéconomique.

Les données ont été enregistrées sur un téléphone portable et nous étions munis d'un cahier de terrain pour les prises de notes.

1.3 Échantillonnage

Pour mener à bien notre recherche, nous avons choisi l'échantillonnage raisonné ; ce qui explique l'impossibilité d'interroger toute la population concernée par l'étude sur notre thème. Nous-nous sommes entretenus avec 35 dont 30 employés des hôtels et 5 cadres de la direction nationale du tourisme et de l'hôtellerie.

2. Présentation de la zone d'étude

Située à 7°59' de longitude Ouest et à 12°40' de latitude Nord, sur les rives du fleuve Niger, la ville de Bamako est construite dans une cuvette entourée de collines. Bamako dévient la capitale du Mali dès son indépendance en 1960. Bamako est situé au carrefour de plusieurs routes commerciales la reliant aux différentes régions de l'Afrique. Cette situation géographique favorable fait de Bamako un lieu de rencontre où se tiennent plusieurs sommets de la sous-région ouest-africaine. A 1000 kilomètres de Dakar et d'Abidjan et à 400 kilomètres de la frontière guinéenne, il accueille plusieurs étrangers par an dans le secteur du tourisme et du commerce. Il accueille également les fonctionnaires étrangers et/ou internationaux qui viennent dans le cadre des missions liées à la résolution des conflits auxquels le Mali est confronté depuis 2012. Bamako est le centre administratif, politique et économique majeur du Mali.

3. Le secteur de l'hôtellerie, un principal pourvoyeur de l'emploi

Le secteur de l'hôtellerie est l'un des secteurs économiques dont la croissance est la plus rapide dans le monde. Il compte aussi parmi les secteurs qui créent le plus d'emplois. Cela, à cause de son fort coefficient de main d'œuvre et de l'important effet multiplicateur sur l'emploi dans d'autres domaines connexes (restauration, tourisme, etc.).

Cependant, il est connu pour ses mauvaises conditions de travail, qui s'expliquent par plusieurs facteurs : fragmentation du secteur avec une majorité de petites et moyennes entreprises, où le taux de syndicalisation est très bas ; faibles niveaux des salaires et des qualifications requises ; travail en équipe, travail de nuit et travail saisonnier.

4. Les conséquences des mesures barrières sur le secteur de l'hôtellerie à Bamako

« Les conséquences de la crise sanitaire liée à la COVID-19 sont nombreuses et s'inscrivent dans divers registres. Elles sont économiques, sociales, démogra-phiques, sanitaires, sécuritaires et alimentaires » (Ettien, J., B., 2020, p.22).

Depuis la détection du coronavirus au Mali, des mesures gouvernementales ont été dépêchés pour contenir sa propagation. Le gouvernement a instauré un couvre-feu de 21 heures à 5 heures, la fermeture des établissements

d'enseignement primaire, secondaire et supérieur, la fermeture des bars et restaurants, interdiction des regroupements de plus de cinquante personnes, obligation de respecter une distance d'un mètre minimum entre individus, etc.

Cette batterie de mesures gouvernementales touche négativement le fonctionnement du secteur de l'hôtellerie.

4.1. Le chômage : aspect visuel des conséquences de la COVID-19 sur le secteur de l'hôtellerie

La conjoncture internationale a eu des répercussions sur le secteur de l'hôtellerie. Elle a mis plusieurs chefs de famille travaillant dans ce secteur dans une situation économique intenable. Elle a entraîné la baisse de la clientèle dans les hôtels. Plus de $\frac{3}{4}$ des clients dans les différents hôtels constitue la population étrangère. Ils viennent d'autres pays d'Afrique et d'Europe. La réduction de la circulation aérienne a considérablement freiné aussi la fréquence des clients dans les hôtels. Selon Dembélé, K., professeur d'Économie au Mali, « *les frontières sont fermées [...] Quand il n'y a pas de voyage, on ne peut pas parler d'hébergement. Pourtant, les hôtels tirent leur plus grand profit dans les séjours. Quand les frontières ferment donc, il est clair que les recettes mensuelles baissent et quand les recettes baissent, ça se répercute sur les emplois* ». (La tribune l'hôtellerie, 1^{er} décembre 2020)².

Selon la même source, la décision du conseil supérieur de la défense nationale tenu le 17 mars 2020, portant la fermeture des hôtels, bars et restaurants au Mali, a conduit à la faillite de l'hôtel Makilékil³. Pendant les trois premiers mois de la COVID-19, le promoteur de cet hôtel n'a pas pu s'acquitter de payer ses employés et le loyer du local servant les locaux de l'hôtel. Il a été obligé de mettre en chômage technique tous ses employés excepté le gérant et le gardien.

Pourtant, avant la COVID-19, les recettes d'une semaine permettait au promoteur de payer tous les employés et le loyer.

Les restrictions de mouvement, les interdictions de rassemblement et le respect de la distanciation d'un mètre minimum entre les individus ont contribué à la baisse de la clientèle dans les hôtels.

Selon le chef de division des études et suivi-évaluation à la Direction nationale du tourisme et de l'hôtellerie au Mali, il a été enregistré 1114 arrivées à Bamako en 2018, 12090 en 2019 et 5482 en 2020 dont une perte de 60% en 2020. Cette perte en termes d'accueil d'étrangers dans les hôtels à Bamako est attribuée aux mesures barrières de la COVID-19. La

baisse de la clientèle a une forte corrélation avec l'augmentation du chômage dans le secteur des hôtels.

Grace à la baisse de la clientèle, les propriétaires d'hôtels ont procédé à une réduction des personnels. Le rendement ne pouvait plus contenir toutes les dépenses, ils sont donc obligés de réduire les employés. Pour pouvoir faire face aux dépenses (payer les factures d'électricité et d'eau, payer les salaires des quelques employés restants, etc.). C'est dans ce contexte que Macaba Bazagari affirme pour le cas de Mozambique qu'un total de 217 entreprises ont communiqué au gouvernement du Mozambique, qu'ils sont entrain d'enregistrer des pertes liées au respect des mesures barrières de la COVID-19. La majorité de ces entreprises selon l'auteur, ont opté pour une suspension des contrats de travail entre eux et les employés. Il affirme qu'à la fin du mois d'avril 2020, 6400 travailleurs ont été affectés par les mesures barrières au Mozambique. (Macaba Bazagari, A., M., 2020, p.64).

Les recettes ont fortement baissé dans le secteur de l'hôtellerie grâce aux mesures de distanciation sociale. Les salles qui pouvaient accueillir cinquante personnes ne contiennent que vingt ou quinze personnes. L'organisation des séminaires et autres cérémonies pouvant accueillir plusieurs personnes dans les hôtels et permet aux hôteliers d'avoir assez d'argent ont connu un ralentissement. Cela a obligé les promoteurs d'hôtels à une réduction de personnes employés. Les propos de Dembélé, Z., responsable d'un hôtel et de Coulibaly, K., 29 ans, jettent clairement de la lumière sur ce point. Le premier nous affirme qu'ils ont perdu à peu près 60% de leur chiffre d'affaires grâce à la crise de la COVID-19. Dans ce cas, ils ont été obligé de licencier plus de la moitié de leurs employés et réduit les salaires des employés restés. Le second dans le même ordre d'idée nous dit ceci : « *je travaillais comme extrat (prestataire de contrat de travail) dans les hôtels. Ils nous faisaient appel pour travailler s'il y'a des cérémonies. Avant la pandémie de COVID-19, presque chaque j'avais un travail à faire dans un hôtel. Mais maintenant avec l'arrivée de la COVID-19, j'ai fait presque un an sans avoir une prestation de travail dans les hôtels. Ils ne nous appellent plus, car le rythme des activités ont fortement baissé dans les hôtels.* »

4.2. Du chômage à l'insécurité alimentaire et au divorce dans les ménages des employés des hôtels

Il ressort dans notre étude que le chômage entraîné par les mesures barrières dans le secteur de l'hôtellerie a un lien avec la baisse du revenu des ménages dont des membres ont été touchés par ce chômage. Dans ces ménages, les dépenses sociales de

² Source : <http://bamada.net>, consulté le 08 mars 2021 à 17 heures 52 minutes

³ L'hôtel « Makilékil » est situé dans un bâtiment de location.

base (santé, logement, nourriture...) ont connu une augmentation ; tandis que le revenu connaît une baisse. Cette situation provoque aussi l'augmentation de l'insécurité alimentaire dans les ménages touchés par le chômage lié aux mesures barrières de la COVID-19. Selon Traoré, B., âgé d'une trentaine d'années, « *les hôtels ont mis en chômage plusieurs personnes en mettant leurs familles dans des situations précaires* ». Quand on a voulu s'avoir plus, il s'explique en ajoutant : « *Au Mali, un seul travailleur a en charge de plus de dix personnes. Si ce dernier va en chômage, c'est toutes ces dix personnes qui vont souffrir* ». Dans ce même contexte, Diarra, M., marié et âgé d'une trentaine d'années affirme que : « *je suis en chômage, je n'ai plus de salaire, je couvre les dépenses de ma famille (nourriture, logement, santé, etc.) très difficilement.* » Dans la même logique, le rapport du plan de réponse de la COVID-19 (mai 2020-mai 2021) de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, rapporte que les mesures barrières de la COVID-19 ont des conséquences négatives sur les ménages. Ces conséquences sont selon le dit rapport : l'augmentation du chômage, baisse du revenu des ménages, l'augmentation de la pauvreté et de l'insécurité alimentaire, etc.

L'étude révèle que le divorce est une variable dépendante de la pauvreté qui est lié aussi au chômage. Les employés des hôtels mis en chômage par les mesures barrières de la COVID-19 sont en majorité affectés par la pauvreté. Ils ne sont plus en mesure de prendre en charge les dépenses fondamentales de leur famille. Ils ont du mal à nourrir la famille, à payer les frais de loyer de la maison, à assurer les frais des médicaments, en cas de maladie d'un des membres de la famille qui sont à leur charge. La conjugaison de toutes ces difficultés peuvent devenir insupportables pour la femme jusqu'à ce qu'elle demande le divorce. De même, le mari se trouvant dans une situation économique intenable peut aller en migration en laissant la femme et les enfants dans des situations difficiles. Cette pauvreté peut provoquer des conflits entre le mari et la femme, les poussant au divorce. Les employés en chômage du secteur de l'hôtellerie ne sont pas épargnés par ces situations. Les propos de Dembélé, Z., âgé de 39 ans sont plus explicite sur ce sujet : « *la femme d'un de nos collègues a divorcé comme ça. Le mari n'avait pas de moyen, même pour avoir de quoi à manger, il avait des problèmes. Le jour où le locataire de la maison où ils habitaient les a chassés à cause du non paiement des frais de loyer, la femme a décidé d'aller chez ses parents. Après un mois et demi, elle a demandé le divorce et elle s'est mariée avec un autre homme.* »

4.3. Les mesures barrières de la COVID-19, source de conflit entre les employés et les promoteurs d'hôtels

Les multiples licenciements et la réduction salaires des employés dans le secteur de l'hôtellerie ont entraîné une crise entre l'administration et les employés. Très touchés par les effets de la crise sanitaire, les promoteurs des hôtels de Bamako n'ont eu d'autres alternatives que de licencier un nombre très important de leurs employés et de réduire les salaires de ceux qui sont restés. Lors de nos enquêtes de terrain, presque tous nos répondants ont affirmé que plus de la moitié des employés de leurs établissements respectifs ont été licenciés. Ils sont licenciés sans aucune mesure d'accompagnement venant de leurs employeurs non moins de l'État. (aBamako.com, aout 2020)⁴. Dans le même contexte, l'un de nos répondants Keita, S., restaurateur, âgé d'une quarantaine d'année nous affirme que certains employés ont plus de dix ans d'expérience dans le secteur de l'hôtellerie mais à cause de la crise sanitaire de coronavirus, ils ont été licenciés sans les mettre dans leur droit. « *Nos salaires ont été réduits de 25 à 30% pendant neuf mois (d'avril à décembre 2020). Ce qui ne devrait pas se faire. Au Sénégal par exemple, un employeur n'a pas le droit de réduire le solde d'un employé à plus de 25%, pratiquement c'est pareil dans presque tous les pays limitrophes du Mali* » ajoute-t-il.

Cette situation a été désapprouvée par certains employés. Ils ont considéré ces licenciements comme arbitraire et ont engagé des poursuites judiciaires contre leurs employeurs. Selon les employés des hôtels que nous avons interrogés, ces licenciements sont en violation des textes régissant le travail en République du Mali. Ils déplorent que toutes les plaintes contre les propriétaires d'hôtels soient restées sans suite. Ils pensent que les promoteurs d'hôtels ont corrompu les services de l'État en charge de l'inspection du travail. D'où ces propos de Keita, S., « *au Mali, l'État ne protège pas les employés du secteur privé. Quand nous-nous plaignons, les promoteurs nous disent que l'État n'a pas respecté ses engagements. Et quand à l'État, elle nous dit que le droit de travail au Mali ne prévoit rien pour les employés en temps de crise.* » Cette thèse a été soutenue par Nimaga, M., dans le journal a.bamako.com publié le 12 aout 2020. Il dit ceci : « *[...] certains cadres de l'inspection du travail auraient perçu des sommes importantes pour faciliter la mise en chômage d'environ deux cents chefs de familles travaillant dans le domaine de l'hôtellerie.* »

Les mesures barrières de la COVID-19 ont été à l'origine des conflits entre les employés et les employeurs dans le domaine de l'hôtellerie d'une part, et d'autre part, entre les employés des hôtels et

⁴ News.abamako.com, consulté le 11/03/2021 à 17h09

les travailleurs de l'administration Étatique en charge de l'inspection du travail.

4.4. La baisse du rythme des activités dans les hôtels liés aux mesures barrières de la COVID-19 et le développement du pays : quel lien ?

Le développement touristique structurellement agencé autour de l'hôtellerie profite bien au développement socioéconomique des pays. Le secteur de l'hôtellerie contribue de façon indirecte au développement des pays. Il participe au développement d'un pays par le biais du tourisme. Les hôtels constituent par excellence les lieux d'accueil et d'hébergement des touristes.

Tableau 1 : Établissements de tourisme au Mali

Régions	Hôtels	Bars	
		Restaurant/ Pâtisserie	Total
Kayes	38	22	60
Koulikoro	62	38	100
Sikasso	45	07	52
Ségou	41	23	64
Mopti	81	21	102
Tombouctou	20	04	24
Gao	17	07	24
Kidal	02		02
District de Bamako	323	327	650
Total	629	449	1078

Source : CEP-OMATHO, cité par le rapport du Mali, rôle du partenariat public privé pour le développement du secteur du tourisme au Mali, (2014), p.6

Les hôtels, les bars, restaurants, pâtisseries, etc. constituent des établissements des touristes au Mali. Ce tableau ci-dessus nous indique que le nombre total des établissements touristiques est de 1078 au Mali ; dont 629 hôtels et 449 bars, restaurants/pâtisseries. Dans toutes les régions du Mali, excepté le district de Bamako, le nombre d'hôtels est supérieur au nombre de bars, restaurants/pâtisseries. C'est seulement à Bamako qu'on voit le contraire. A Bamako, on compte 323 hôtels contre 327 bars, restaurants/pâtisseries. Le total des hôtels au Mali est 629 contre 449 bars, restaurants/pâtisseries. Cela dénote l'importance des hôtels dans le développement du tourisme en particulier et du pays en général.

En 2010, le Mali a cumulé 101 349 000 000 des recettes dues au tourisme (CEP-OMATHO). Ce rôle est attribuable aussi au secteur de l'hôtellerie qui va de pair avec le tourisme.

Il ressort de cette étude que le secteur de l'hôtellerie participe au développement du pays en termes de paiement d'impôts et de taxes. Nous n'avons pas eu des données quantitatives sur ce point, cependant, presque la quasi-totalité des personnes interrogées

sur ce point ont affirmé que le secteur de l'hôtellerie participe au développement économique de 2 à 3/5 par le paiement des taxes et des impôts. « *Si vous me demandez, je dirai qu'à 2 voir 3/5, l'hôtellerie participe à l'augmentation de l'économie. Car non seulement les hôtels payent les impôts et les taxes mais aussi les étrangers qui viennent font des dépenses et les retombés de ces dépenses profitent à tout le monde, population et État* » (A. Yattara, 37 ans, chef restaurateur dans un hôtel).

C'est ainsi que les mesures barrières de la COVID-19 en rétrécissant la clientèle dans les hôtels, ont fortement réduit les chiffres d'affaires des entreprises hôte-lières. Ce qui a aussi diminué les impôts et les taxes que ceux-ci payent à l'État. Au final, l'économie nationale a également connu une baisse. C'est dans ce contexte que Keita, S., l'un de nos enquêtés qui a une vingtaine d'année d'expérience dans le secteur de l'hôtellerie à travers la sous-région ouest africaine nous dit ceci : « *la pandémie de coronavirus a réduits le rythme de nos activités à 70%. Cela a impacté négativement sur nos chiffres d'affaire et si le chiffre d'affaire diminue, les impôts et les taxes que nous payons pour la caisse de l'État diminuent. Donc si les taxes et les impôts diminuent, l'État va sentir* ».

4.5. Les alternatives adoptées par les employés du secteur de l'hôtellerie pour faire face aux conséquences des mesures barrières de la COVID-19

La mise en chômage technique, licenciement ou fermeture des hôtels sont des conséquences qui ont le plus touché les employés du secteur informel en général et plus singulièrement le secteur de l'hôtellerie au Mali. Ces problèmes ont entraîné en profondeur, la pauvreté, la famine, le divorce dans des familles à Bamako. Pour faire face à ces difficultés, les employés exerçant dans le domaine de l'hôtellerie ont du trouvé des alternatives qui sont individuelles, durables ou non durables. Certains ont migré vers d'autres secteurs d'activité, comme ce fut le cas de Coulibaly, K., 29 ans. Coulibaly K. est l'un de nos répondants, il travaillait comme *extra* (prestataire de service) dans un hôtel avant l'arrivée de la crise sanitaire de coronavirus. Quand le rythme des activités a baissé à l'hôtel à cause des mesures barrières de la COVID-19, il s'est converti en aide maçon. Il nous explique en ces termes : « *j'étais extra dans un hôtel, quand ils ont commencé à licencier les employés à l'hôtel à cause de la pandémie de coronavirus, j'ai changé de travail. Maintenant je suis ouvrier dans les chantiers de construction avec l'un de mes frères qui est maçon.* »

Ceux qui ont des soutiens dans la famille sont restés sans rien faire. Ils sont complètement en chômage en attendant que les activités reprennent leur rythme habituel. La plus de ces employés qui sont restés sans chercher d'autres alternatives ont des frères qui les

épaulent ou qui prennent en charge les dépenses de toute la famille. L'expression la plus utilisée pour ces personnes lors de nos entretiens est : « *Toute difficulté a un début et une fin. Donc on se confie à Dieu, ça va finir un jour.* »

D'autres, surtout les plus expérimentés ont pu profiter des liens sociaux ou parentés pour être embauchés dans des petits restaurants ou pâtisseries. Plus de la moitié des personnes interrogées qui sont en chômage et qui ont une expérience de travail de plus de dix ans, ont répondu que c'est à travers d'un lien social qu'ils ont pu décrocher un autre emploi dans l'un de ces secteurs connexes de l'hôtellerie. Le cas de Kanté F. et de Fall M. est plus explicite sur ce point. Le premier affirme avoir reçu de l'aide d'un ami pour avoir du travail dans une pâtisserie après son licenciement à l'hôtel, le second nous dit que c'est grâce à son cousin qu'il a pu être employé dans un restaurant. Ces deux répondants ont chacun plus de dix ans d'expérience de travail dans le secteur de l'hôtellerie.

Comme alternative, certains ont procédé à la création d'entreprise dans leur secteur d'activité. Ils ont préféré ouvrir leur propre restaurant que d'aller travailler dans un autre domaine. Le cas de Keita S. est plus illustratif sur ce sujet. Il a eu à travailler dans d'autres pays (Sénégal, Côte d'Ivoire et Burkina Faso) différents du Mali dans le domaine de l'hôtellerie. Dès le début de sa mise en chômage technique par son employeur à l'hôtel, il crée un restaurant et travaille dans son propre compte. Quand on a voulu savoir plus, il ajoute ceci : « *j'ai eu cette idée au moment du coup d'État de 2012 qui a renversé l'ancien président feu ATT. En cette période, les hôtels ont connu la même situation que celle que nous vivons actuellement, sauf qu'elle n'a pas duré en 2012. Après cette crise de 2012, je me suis dit qu'il faut prévoir ces genres de situation encore. C'est pourquoi dès le début de coronavirus j'ai directement créé mon restaurant.* »

Conclusion

Les effets des mesures barrières de la COVID-19 sur le secteur de l'hôtellerie à Bamako se font voir à travers les éléments suivants : expulsion d'employés, fermeture d'hôtels, endettement des hôteliers, mise en chômage technique, etc. Ces difficultés ont plongé les ménages des personnes exerçant des activités dans le secteur de l'hôtellerie et ont touché négativement l'économie nationale. La mesure de fermeture des frontières et l'interdiction des regroupements (séminaires, rencontres, conférences, etc.) ont été un coup dur pour le secteur informel en général et plus singulièrement pour le secteur de l'hôtellerie.

Le cumul de toutes ces difficultés auxquelles les employés et toutes les personnes concernées par le secteur de l'hôtellerie a poussé certains à se recon-

vertir à d'autres activités économiques différentes de l'hôtellerie et/ou créer leurs propres entreprises.

En termes de perspectives, il faut :

Prendre des mesures d'accompagnement pour soutenir le secteur privé en période de crise sanitaire ;

Diminuer les taxes et les impôts sur les entreprises privées pour permettre à celles-ci de couvrir leurs charges ;

Prendre des mesures pour protéger les employés du secteur informel contre des licenciements arbitraires et le bas salaire en période de crise sanitaire ;

Bibliographie

Cazalais, N., (1998), « Charlevoix et ses auberges », Théoros, vol.17, n°1, pp.51-52

Dabo, A., (2020), « Écho de la covid-19 dans la cité malienne » (sous la direction de Yapi-Diahou, A.), Cahier, covid-19 au quotidien, pp.15-18

Danioko, A., (2020), « COVID-19 : le cri de cœur des enseignants des écoles privées » dans wordpress.com

Ettien, J.B., (2020), « la Côte d'Ivoire dans la gouvernance de la crise sanitaire de la covid-19 » (sous la direction de Yapi-Diahou, A.), Cahier, covid-19 au quotidien, pp.19-25

Koné, A., Traoré, A. et al., (2021), « Influences de la covid-19 sur les activités socioéconomiques à Bamako », Revue africaine des sciences sociales et de santé publique, vol.3, n°1, 11 pages

La tribune de l'hôtellerie, (1^{er} décembre 2020), « L'agonie des hôtels de Bamako face à la covid-19 », <http://bamada.net>

Macaba Bazagari, A. M.A, (2020), « Le Mozambique face à la covid-19 », (sous la direction de Yapi-Diahou, A.), Cahier, covid-19 au quotidien, pp.57-65

MSAS, (2020), « Plan d'action pour la prévention et la réponse à la maladie à coronavirus, mars 2020 »

Nimaga, M., (12 août 2020), « Licenciement arbitraire en vue à l'hôtel de l'amitié et el Farouk de Bamako : Plus de 200 employés bientôt jetés à la porte avec la complicité de certains cadres véreux de l'inspection du travail. », L'enquêteur, news.abamako.com

ONU, (2020), « Analyse rapide des impacts socioéconomiques du covid-19 au Mali »

Rapport du Mali, (2014), « Rôle du partenariat public privé pour le développement du secteur du tourisme au Mali »

Sutter, L. (2020), « Logistique des pandémies », Cairn.info, vol.3, n°3, pp. 3-18

COVID 19 : incidences économiques et sociales et défis posés au gouvernement malien

Moussa Diallo

Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako
moussadiallo408@hotmail.com

RESUME : Vers la fin de l'année 2019, une nouvelle maladie infectieuse respiratoire est apparue en Chine, faisant plusieurs milliers de morts. La maladie, très contagieuse et dénommée Covid19, c'est-à-dire « maladie à Coronavirus SARS-CoV2 » par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), a déjà causé plus d'un million de décès à travers le monde et quelques centaines au Mali. Mise à part l'Égypte et l'Afrique du Sud, le continent africain demeure relativement peu touché, même s'il n'en subit pas moins les effets humanitaires et économiques. Le Covid19 est devenu une véritable pandémie.

Plusieurs facteurs peuvent être retenus pour expliquer la propagation rapide de la maladie : la position de puissance économique majeure qu'occupe la Chine dans le monde et les responsabilités politiques qui se situent à différents niveaux. Face à cette nouvelle donne sanitaire, les réactions furent quelques peu hasardeuses au départ.

Toutefois, pour contrer la maladie, la plupart des gouvernements a initié une série de mesures restrictives comme le confinement, le couvre-feu, la fermeture des frontières, l'interdiction de voyages, etc. Ces mesures ont eu pour conséquences : la perte de croissance pour l'économie mondiale, les destructions d'emplois, les détresses sociales. Il a fallu aussi adopter des mesures d'accompagnement pour soulager les ménages et les entreprises, les deux catégories d'agents économiques les plus impactés.

Le Mali, déjà confronté à une crise multidimensionnelle, subit de pleins fouets les effets de cette crise sanitaire sur le plan économique et social. Les secteurs économiques les plus impactés sont l'agriculture, le tourisme et l'hôtellerie, les finances publiques et les envois de fonds des migrants. Au plan social, les secteurs les plus touchés sont la santé et l'éducation.

La crise du Covid19 impose d'innombrables défis à l'État malien, défis qui se mesurent à l'aune des effets subis. Sur le plan sanitaire, il faut être capable de bâtir un système de santé pouvant prendre en charge une crise aussi massive que soudaine.

Sur le plan économique, il faut renforcer les capacités de résilience des populations par l'adoption des mesures d'accompagnement et investir massivement dans les secteurs où le pays dispose d'avantages comparatifs avérés tels que l'agriculture et les industries extractives.

Mots clés : Covid19, pandémie, crise, impacts, défis

Introduction

Au mois de décembre 2019, le monde apprenait, non sans inquiétude, à travers les masses médias, l'apparition en Chine d'une nouvelle maladie se manifestant par des cas massifs de pneumonies conduisant à des difficultés respiratoires aiguës dont certains sont mortels.

Très rapidement, la maladie se propage au reste du monde et devient une pandémie mondiale. Les premiers cas ont été décelés en Europe dès la fin du mois de janvier 2020. En février 2021 déjà, tous les continents étaient touchés et le Mali a enregistré ses premiers cas le 25 mars 2020. Nous sommes à fin février 2021, plus de cent (100) millions de personnes ont été infectés par la maladie dans le monde dont trois (03) millions en Afrique. Le nombre de cas détectés au Mali s'élève à environ 8300. Le nombre de personnes décédées à la suite de cette pandémie dépasse les deux millions quatre cent mille (2 400 000) dont, environ soixante-dix mille (70 000) en Afrique et trois cent cinquante (350) au Mali. Il apparaît ainsi clairement que l'Afrique est le continent le moins touché par le Covid19.

Pour autant, l'Afrique et le Mali en particulier ne demeurent pas moins touchés par les conséquences

de cette pandémie. L'impact sur le plan économique et social est considérable et pose d'énormes défis en termes de développement. Concernant le Mali, il ne faut pas perdre de vue que la crise sanitaire est venue se greffer à la crise politico-sécuritaire parti du nord et qui secoue l'ensemble du pays depuis 2012.

Analyser les impacts et les défis pour un développement économique et social au Mali et en Afrique, en pleine période de Covid19 paraîtrait prématurée et donnerait l'impression de faire un bilan à mi-parcours, tant les retournements de situation et les évolutions de toutes sortes paraissent encore possibles. L'exercice est toutefois utile.

L'objectif principal ici, est de pointer certaines conséquences de la pandémie et de mesurer l'apport des politiques publiques mises en œuvre pour atténuer ces impacts et amorcer le développement économique et social dans nos pays.

Les objectifs spécifiques visent, entre autres, à :

- Définir le Covid19 et faire ressortir les facteurs qui ont contribué à sa propagation rapide au reste du monde.
- Identifier les secteurs les plus impactés et les conséquences qui en ont découlé.

- Énoncer les mesures d'accompagnement mises en œuvre par-ci par-là pour soulager les populations.
- Relever les défis qu'attendent les pouvoirs publics pour un meilleur développement économique et social.

Les résultats attendus de cette étude visent à mettre à la disposition des gouvernants et des publics cibles, un outil d'analyse et d'appréciation susceptible de leurs aider dans le processus de prise de décision et d'obtenir certaines informations sur la thématique du Covid19.

Les ressources utilisées proviennent essentiellement de la recherche documentaire sur différents sites virtuels ; les références bibliographiques relatives à la thématique n'étant pas abondantes pour l'heure. Le coût de l'étude est supporté par son auteur. Sa démarche rédactionnelle suit scrupuleusement l'énoncé de ses objectifs.

1. Le Covid19 et les facteurs de sa propagation rapide dans le monde

1.1 Le Covid19 est un acronyme anglais utilisé pour la première fois en janvier 2019 par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) pour désigner une nouvelle maladie apparue dans la ville chinoise de Wuhan, capitale de la province du Hubei au centre du pays.

Co signifie Corona, Vi veut dire Virus et D pour Disease et 19 pour l'année 2019 ; d'où Covid19 se définit comme « la maladie à corona virus apparue en 2019 ».

L'origine réelle de la maladie reste encore à déterminer. Au début de la pandémie, plusieurs sources ont été évoquées nourrissant parfois de véritables polémiques entre, d'une part, le Gouvernement chinois et ceux de certains pays occidentaux, et d'autre part, entre certains scientifiques. Tantôt l'on parle d'une fuite du virus d'un laboratoire, tantôt on évoque la consommation de la viande d'animaux de brousse comme la chauve-souris ou le pangolin.

C'est une maladie respiratoire dont les symptômes rappellent ceux du rhume ou la grippe et qui entraînent des légions pneumoniques, des légions aux niveaux du système ORL, du système nerveux, du cœur et des reins. A la différence de la grippe qui s'installe brusquement, le Covid19 se met en place de façon progressive sur plusieurs jours et son processus de guérison prend beaucoup plus de temps. Il se manifeste par la toux sèche, les maux de tête, les courbatures et une fatigue généralisée. Pour le détecter du rhume simple et de la grippe, différents types de test sont pratiqués : le test salivaire, le test PCR c'est-à-dire le prélèvement nasal et le test sanguin.

Sur le plan clinique, on en sait davantage sur la maladie aujourd'hui. Son génome est bien séquencé et les molécules qui entrent dans sa composition sont connues. C'est ce qui permet aujourd'hui à des laboratoires de développer des vaccins contre la maladie. Seulement, l'inquiétude vient des mutations génétiques du virus survenues récemment dans certaines parties du monde. Les vaccins actuels seront-ils efficaces face à ces mutations ?

1.2 Les facteurs de la propagation rapide de la pandémie

Deux principaux facteurs peuvent expliquer la propagation rapide de la pandémie, à savoir : le degré d'insertion de la Chine dans l'économie mondiale et les responsabilités politiques.

1.2.1 La position dominante de la Chine

La Chine est un pays majeur sur l'échiquier économique mondial. Elle est la 2^{ème} économie et la 1^{ère} puissance commerciale notamment en termes de production des produits manufacturiers ; raison pour laquelle elle est qualifiée d'atelier du monde. Son degré d'insertion dans la division internationale du travail est si élevé que le pays est un partenaire pour presque tous les pays du monde. Une telle position crée des interactions et des flux d'échanges multiples qui se traduisent par des entrées et des sorties quotidiennes de milliers de personnes entre ce pays et le reste du monde. Ces mouvements de personnes sont propices à la propagation de la maladie.

1.2.2 Les responsabilités politiques

Les responsabilités politiques dans la propagation de la maladie tiennent surtout à la gestion de la crise sanitaire à ses débuts et peuvent être situées à quatre (04) niveaux :

- **Au niveau des autorités chinoises**, la maladie n'a été portée à la connaissance du monde qu'après avoir échappé à tout contrôle et en ayant occasionné des milliers de morts dans la ville de Wuhan.

Tout porte à croire que, dans un premier temps, les autorités chinoises ont essayé de maintenir un black-out autour de la maladie en contrôlant l'information. Et pendant ce temps, la maladie se diffusait dans la population de Wuhan et dans le reste du pays. Les mesures de prévention qui auraient pu être prises ne l'ont pas été suffisamment à temps.

- **Au niveau des autorités de certains pays dits développés**, notamment européens et des Etats-Unis, les mesures de rapatriement précipité de leurs citoyens ont favorisé l'exportation de la maladie dans leurs pays respectifs.

Pour la raison que je viens juste d'évoquer relativement à l'attitude des autorités chinoises, il se peut que certains citoyens étaient déjà infectés par le virus au moment où ils se faisaient rapatrier. Les rapatriements de nationaux permettent de leurs

mettre à l'abri de certains dangers, surtout en temps d'insécurité due à des événements comme la guerre, les tensions politiques, les catastrophes naturelles, etc. Mais, dans le cas d'une maladie aussi contagieuse, il aurait été plus prudent de maintenir les personnes sur place en attendant que la « tempête » ne se dissipe.

- **Au niveau des autorités de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)**, la maladie n'a pas mérité toute l'attention qu'elle aurait pu avoir au départ.

Sa portée et son ampleur ont été quelque peu négligés et l'organisation a été accusée de négligence et même d'incompétence notamment par le Gouvernement américain. Probablement, en donnant l'alerte plus tôt, les autres pays auraient pu mettre en œuvre des mesures préventives susceptibles de limiter l'ampleur des contaminations.

- **Au niveau spécifique des autorités maliennes**, il faut retenir le manque de courage politique ou l'incapacité à faire respecter les mesures barrières pour la distanciation sociale dans la propagation de la maladie au niveau national.

Quoique la décision ait été prise pour limiter les regroupements à cinquante (50) personnes, les événements sociaux comme les baptêmes, les mariages, les funérailles n'ont jamais cessé et ont continué à réunir les personnes au-delà du nombre autorisé, et cela, au vu et au su de tout le monde.

En outre, les lieux de culte, les marchés et les transports collectifs ont continué à drainer les individus sans l'imposition de mesures de précautions particulières. Le couvre-feu décrété, respecté un moment, a fini par exaspérer les populations et a fini par être levé. Enfin, il faut signaler que les masques de protection (cachés nez) n'ont pas été rapidement disponibles pour les populations. Seuls les services publics, les banques et certaines administrations privées ont pu mettre en place en leurs seins des kits sanitaires pour le lavage des mains et ont rendu obligatoire le port des masques.

2. Les secteurs les plus impactés et les conséquences pour le développement économique et social

Le Mali, à l'instar des autres pays du monde, a subi de manière brutale les effets de la crise sanitaire mondiale. Presque tous les secteurs de l'économie nationale ont été négativement impactés, entraînant, du coup, une perte drastique de croissance. Selon les données de l'Institut National de la Statistique (INSAT), en 2020, le taux de croissance du PIB a chuté de 5% à 0,9%.

La résilience de l'économie tient principalement au bon comportement du secteur aurifère, réaffirmant ainsi le caractère de valeur refuge de l'or. En effet, depuis le début de la pandémie, les cours de l'or n'ont cessé de s'apprécier sur le marché international, atteignant souvent les 2000 \$US l'once. Aujourd'hui, le cours de l'once se situe aux alentours des 1800 \$US. Outre, l'appréciation des cours, on a assisté à une augmentation des quantités produites.

Même si le secteur aurifère a empêché l'économie nationale de sombrer complètement, les autres secteurs de la vie économique et sociale ont été très durement touchés et les conséquences sur les populations se traduisent par une paupérisation généralisée.

2.1 Les secteurs économiques les plus impactés

Parmi les secteurs touchés par la crise sanitaire mondiale, nous mettons l'accent sur les secteurs de l'agriculture, du tourisme et des voyages, des finances publiques, des transferts de migrants.

2.1.1 L'agriculture

L'agriculture est prépondérante pour l'économie malienne. Les exportations de coton occupent le 2^e rang des recettes d'exportation après celles de l'or. La pandémie du Covid19 a entraîné une chute vertigineuse des cours du coton d'environ 18% depuis le début de l'année 2020, en raison de l'effondrement de la demande, elle-même due à des fermetures d'usines dans les pays importateurs.

Le prix d'achat du coton-graine de 1^{er} choix initialement fixé à 200 FCFA contre 255 FCFA pour la campagne précédente par la Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles (CMDT) au titre de la campagne 2019-2020 n'a pas reçu l'approbation d'une majorité de paysans qui ont finalement préféré les cultures vivrières au détriment de la production de coton moins rémunératrice ; provoquant de ce fait une chute de la production de quatre cent cinquante mille (450) à moins de deux cent mille (200) tonnes.

La perte de revenu par les paysans en raison de l'abandon de la culture du coton n'a pu être compensée par les revenus tirés de l'exploitation des cultures vivrières, d'où l'accroissement de la pauvreté en milieu rural.

2.1.2 Le secteur des voyages et du tourisme

Les professionnels du tourisme, de l'hôtellerie et des voyages subissaient déjà de plein fouet les conséquences de la crise sécuritaire née avec la rébellion de 2012 au nord qui s'est mue par la suite en un péril terroriste répandu sur le reste du pays.

Même si nous ne disposons pas de statistiques fiables en termes de pertes de nuitées pour les hôtels ou de nombres de billets émis par les agences de voyages,

nous pouvons affirmer, sans exagérer, que ce secteur est le plus durement frappé par la double crise sécuritaire et sanitaire. Les mesures de fermeture des frontières, de restriction des voyages, de confinement généralisé ou partiel, de couvre-feu à travers le monde, ont réduit considérablement les mouvements de personnes à leur strict minimum se traduisant par une chute de la demande de services de voyages et d'hôtellerie. Faute de clientèle suffisante pour assurer la continuité de leur exploitation ou pour assurer un seuil minimum de rentabilité, certains d'établissements ont fini par réduire l'effectif de leur personnel pour ceux qui ont su résister ; d'autres ont carrément déposé le bilan.

2.1.3 Les finances publiques

Les mesures prises par les Gouvernements des pays africains, et par celui du Mali, en particulier, pour atténuer les effets des restrictions sur les populations ont exercé une pression extraordinaire sur les budgets des Etats.

En effet, le 10 avril 2020, le Président de la République a, dans une adresse à la nation, annoncé une panoplie de mesures d'accompagnement dénommée « Mesures de soutien aux entreprises et à la population face à la maladie à Covid19 ». Ces mesures sont, entre autres :

- La gratuité de l'eau et de l'électricité pour les mois de d'avril, de mai et de juin 2020 pour les tranches sociales ;
- L'exonération de la taxe sur la valeur ajoutée (TVA) sur les factures d'eau et d'électricité des mois d'avril, de mai et de juin 2020 pour les autres couches et les entreprises ;
- La prorogation de la date de souscription des déclarations d'impôts sur le bénéfice (I/BIC) et d'impôts sur les sociétés (IS) au 31 mai 2020 et sans pénalité ;
- Les transferts monétaires aux couches sociales vulnérables ;
- Les distributions de vivres aux populations nécessiteuses ;
- La distribution de masques aux populations suivant le slogan « un malien, un masque ».
- En plus de ces mesures, il faut rappeler « Le plan d'actions pour la prévention et la réponse à la maladie à Covid19 » adopté par le Ministère de la Santé et des Affaires Sociales avant même l'apparition des premiers cas de contamination et qui se chiffrait à Six (06) milliards de FCFA.

L'ensemble de ces mesures a été chiffré à Cinq cent (500) milliards de FCFA. En plein exercice, il a fallu procéder à un collectif budgétaire pour prendre en charge ces nouveaux engagements. C'est ainsi que, le mercredi 13 mai 2020, le gouvernement a adopté en Conseil des ministres une loi des finances rectificatives qui revoie à la hausse les dépenses,

tandis que les recettes diminuent ; d'où un accroissement du déficit budgétaire qui sera financé en grande partie par l'endettement. En contribuant à creuser davantage le fossé de la dette, la pandémie du Covid19 est devenue un fardeau même pour les générations futures.

2.1.4 Les transferts des migrants

La Banque Mondiale, dans sa note d'information rendue publique par le communiqué de presse du 22 avril 2020, place le Mali au 9^e rang des pays africains bénéficiant le plus des transferts de fonds de ses expatriés et le 3^e des pays francophones après le Sénégal et la République Démocratique du Congo.

En effet, on estime à près de Cinq (05) millions, le nombre de maliens établis à l'étranger, dont une grande partie en Côte d'Ivoire, en Afrique Centrale et en Europe. Les transferts de fonds par les canaux formels effectués par cette importante diaspora dépassent le milliard de dollar en 2017 et représentent 6,7% du PIB, constituant de ce fait la 2^{ème} source de financement de l'économie nationale après le secteur de l'or. Ce calcul ne prend pas en compte les transferts clandestins qui porteraient certainement sur une proportion plus importante. « Ce pourrait même être le double, voire le triple » affirme M^r Dilip RATHA, Economiste à la Banque mondiale et auteur d'un récent rapport qui prévoit une baisse sans précédent des envois de fonds des migrants. Selon lui, le Covid19 va causer une chute des transferts monétaires de l'ordre de 20% dans le monde et de 23% en Afrique, entraînant une récession aux répercussions multiples comme, par exemple, des difficultés à subvenir aux besoins de premières nécessités pour de nombreuses familles. S'agissant du Mali, près de 30% des transferts officiels proviennent des maliens de France, la plus importante communauté hors d'Afrique comptant 120 000 personnes. Ces expatriés sont surtout employés dans des secteurs fortement touchés par la crise et les mesures de confinement tels que le bâtiment, la restauration, l'entretien et la manutention, le transport et la vente au détail. Ce sont des petits salaires, des précaires qui ont payé le fort prix de l'arrêt de l'outil de production en termes de pertes d'emploi et de revenu.

2.2 Les secteurs sociaux les plus impactés

Ici, l'accent est mis sur le secteur sanitaire et celui de l'éducation.

2.2.1 Le secteur de la santé

Le Covid19 est une crise sanitaire majeure élevée même, à ses débuts, au rang de « guerre » par certains Etats.

Le fait que les mesures de restrictions soient prises en comités restreints appelés « Conseil de défense » constitués autour des chefs d'Etats dans de nombreux pays est l'illustration de toute l'importance accordée à la lutte contre la pandémie.

A la première ligne de cette lutte se trouve le personnel médical qui est en contact direct avec la maladie. C'est lui qui assure la prise en charge directe des personnes infectées par le virus et se trouve de ce fait le plus exposé. D'ailleurs, combien de personnels sanitaires (médecins, infirmiers, aides-soignants, etc) ont été infectés par le coronavirus et en ont périés ? Bien que nous ne disposions pas de statistiques officielles permettant de répondre à cette question, nous pouvons affirmer qu'ils sont des centaines, voire même des milliers.

Au-delà du personnel sanitaire, le Covid19 a exercé une pression extraordinaire sur les systèmes de santé. La prise en charge des patients du Covid19 a absorbé toutes les ressources (urgences-réanimations, lits d'hospitalisation, personnel) amenuisant ainsi les ressources disponibles pour la prise en charge des personnes atteintes d'autres pathologies.

La crise sanitaire a explosé les coûts des services de santé. Il a fallu dans l'urgence :

- équiper les hôpitaux en lits supplémentaires, en respirateurs, en dispositifs de prise en charge spécifique ;
- acheter des masques pour le personnel ;
- acquérir des vaccins et cela continu encore.

La pandémie a révélé l'insuffisance des systèmes de santé à faire face à la montée soudaine et massive des cas d'infections dans la plupart des pays. Les milliers de morts enregistrés sont autant de pertes pour la société, pour des familles souvent déstructurées qui perdent des êtres chers et des soutiens.

2.2.2 Le secteur de l'éducation

Pour enrayer la propagation de la maladie, les mesures de restrictions adoptées visent principalement à limiter les regroupements de personnes pour faire respecter la distanciation sociale.

L'école étant le lieu de regroupement par excellence, il a fallu fermer les établissements scolaires pour de nombreuses semaines, voire des mois. Les années scolaires et académiques ont été tronquées et les programmes enseignés au rabais. Toute chose qui contribue à accroître le taux de décrochage et à baisser davantage le niveau des apprenants, un niveau déjà fort impacté par les mouvements sociaux à répétition de la part de syndicats d'enseignants, mais aussi d'élèves et étudiants.

Les méthodes alternatives d'enseignement fondées sur les technologies de l'information et de la communication (TIC) comme l'enseignement à distance via internet et à travers les supports audiovisuels (Radios et Télévisions) ont très rapidement montré leurs limites. Selon le site d'information en ligne JDN (journal du net) en 2010, le Mali ne comptait que 2% d'internautes dans sa population et occupait le 28^e rang sur 54 pays africains (même si des progrès ont été enregistrés depuis); en outre le taux de desserte en électricité

étant très faible et limité aux agglomérations, l'enseignement à distance devient rapidement une affaire de privilégiés. Il démontre par ailleurs les disparités sociales entre les familles aisées et les familles modestes, entre les zones urbaines et les zones rurales et fausse l'égalité des chances entre les enfants d'un même pays. A tout cela, il faut ajouter le temps perdu par les fermetures d'établissements qui ne sera probablement jamais récupéré. Pour l'apprentissage, le temps perdu ne se rattrape point. Aussi, la fermeture des classes a été un gouffre financier pour l'Etat qui a continué à verser des salaires à un personnel enseignant inactif.

3. Les défis à relever pour un développement économique et social

La maladie à coronavirus est avant tout une crise sanitaire, qui de par son ampleur et sa soudaineté, semble avoir surpris la plupart des Etats, révélant du coup l'insuffisance des systèmes de santé.

Le 1^{er} défi qui se pose au Mali, c'est comment mettre en place un système de santé apte à faire face à des chocs (des nouvelles maladies ou la résurgence d'anciennes sous d'autres formes) aussi massifs que soudains comme le cas du Covid19. Ce défi ne peut être accessible qu'en investissant massivement dans le secteur de la santé par : la formation de ressources humaines en quantité et en qualité ; la création de centres de recherche sur les vaccins et les médicaments ; la construction et la dotation en équipements adéquats d'infrastructures sanitaires (dispensaires, hôpitaux, polycliniques, etc) ; la mise en place d'un dispositif de prévention et de secours d'urgence (maisons-tantes et hôpitaux préfabriqués et démontables disponibles en permanence) ; l'initiation des programmes éducatifs et d'information audio-visuels et scolaires sur l'hygiène et la propreté ; la pérennisation de certaines mesures adoptées jusqu'ici dans la lutte contre le Covid19.

La maladie à coronavirus est aussi et surtout une crise économique, crise induite par les mesures de restrictions adoptées dans la lutte contre la maladie. La pandémie a entraîné une récession économique mondiale.

Le 2^e défi qui se pose au Mali, c'est comment relancer l'outil de production et redémarrer la machine économique. Les mesures d'accompagnement mises en œuvre pour atténuer les impacts des restrictions et renforcer la résilience des opérateurs économiques (entreprises) et des ménages sont salutaires et doivent être renforcées, même si elles occasionnent des coûts financiers importants pour l'Etat. Les secteurs de l'or et du coton fournissent l'essentiel des recettes d'exportation. Cette dépendance à un nombre très limité de produits pourvoyeurs de devises expose le pays aux chocs extérieurs avec une certaine acuité. La classique rhétorique de diversification économique est plus que jamais d'actualité. Il faut

investir massivement dans l'agriculture et l'agroalimentaire, secteur où le pays dispose d'importantes potentialités, avec comme priorité la satisfaction de la demande intérieure. Il ne s'agit point de se couper du reste du monde, car ceci paraît impensable au regard de l'interdépendance croissante des économies nationales. C'est cette interdépendance qui nous amène à partager toutes les autres crises avec les autres nations, y compris les maladies.

Conclusion

Le Covid19, révélée de manière dramatique à la fin 2019, a surpris et étalé les limites des sociétés humaines face à l'une des pires maladies des dernières décennies. L'ampleur des tueries rappelle les grandes épidémies de l'ère préindustrielle et démontre qu'on est jamais suffisamment préparé pour faire face à une situation au brusque que dévastatrice. Au drame sanitaire s'ajoute un désastre économique induit par les mesures de restriction adoptées pour lutter contre la maladie.

Pour le Mali, la situation est d'autant plus compliquée que la pandémie s'est greffée à une crise multidimensionnelle qui nécessite l'accompagnement de la communauté internationale.

Pour l'Afrique et le reste du monde, l'accent est surtout mis sur l'aspect préventif avec le développement des vaccins sur fond d'intérêts

financiers et mercantiles au détriment de l'aspect curatif, c'est-à-dire le développement des médicaments et des traitements une fois la maladie installée. Il faut redouter que le Covid19 ne soit une maladie endémique avec laquelle nous devrions apprendre à vivre, et cela, pour longtemps encore.

Références

Documents

- Document du « Plan d'Actions pour la prévention et la Réponse à la Maladie à Covid19 »
- Texte du Discours à la nation du Président de la République du vendredi 10 avril 2020
- Etude innogence consulting pour le FIDA et Babyloan MALI

Sites Web

www.worldbank.org
www.journaldesfemmes.fr
www.fr.statista.com
www.commodafrica.com
www.adeanet.org
www.lemonde.fr
www.journaldunet.com
www.agenceecofin.com
www.dgi.gouv.ml
www.financialafrik.com
www.who.org

Reusable Face Barrier Mask in Cotton: Natural Dye Use to Improve Antibacterial Properties

Awa S Doumbia^{1*}, Amadou Hamadou Babana², Abdourhamane Noussoura Diallo³

¹Research and Training Center for the textile Industry, Sébougou, Ségou, Mali

²Faculty of Science and Technology of University of Science and Technology of Bamako

*awasonfe@gmail.com

ABSTRACT: Face barrier masks were realized according to AFNOR SPEC S76-001 and ECOSTAND standard 082 2020 (ECOWAS standard). Cotton textile with specific properties according to previous standards was used to make face mask with pertinent barrier parameter after several washing steps. To compare with treated textile with natural dye which is naturally antibacterial properties, we use N'galama "Anogeissusleiocarpus". Masks made with a cotton fabric treated or not and washed or not; showed a barrier effect of 100% efficiency, after spraying with a stream of sodium chloride aerosol and an aerosol based on bacteria. Additional with yellow fabric dyeing with N'galama there are a reduction of the number of bacteria on the external surface of the masks by 33%. All of the tests made by CERFITEX on fabric used and mask barrier physical and others properties are compliant with standard.

Keywords: textile, cotton, face mask, reusable, antibacterial properties, natural dye

1. INTRODUCTION

For several months, the world has been battling a disease named COVID 19, with its corollaries of social and economic crises. One of the methods to protect the population against this virus is the use of relevant face barrier masks.

The lack of medical treatment has led public health experts to propose a mandate on "barrier masks," and social distancing rules as protective measures for the general public.

We focus on reusable face masks and study whether some fabrics may provide additional protection. Specifically, we show that some cloth materials enhances the barrier function of face masks as bacteria are less likely to survive in contact with conventionally recommended fabric for face mask.

We build on the AFNOR SPEC S76-001 and ECOSTAND standards (inspired to AFNOR SPEC S76-01), which provide guidelines for testing and producing barrier masks. These guidelines provide a comprehensive set of best practices relative to product, services, methods, processes, and organizations. Consequently, these standards are respected to manufacture the barrier masks described in this article.

We study the well-known antibacterial properties tree (here N'galama) on the efficacy of masks. This tree is remarkable for its beautiful yellow flowers. We use leaves, which are widely used in the artisanal clothing in Mali and West Africa. The tincture is prepared, among other things, by boiling the leaves. It was used at one time, in particular, to color the clothes of the young

circumscribed [1]. According to (Tauxier, 1927) [2] N'galama powder is used for healing wounds

Previous literature (Cordon 2007) [3], has shown medicinal values from extracts of dye plants. The chemical groups responsible for pigmentation in plants are known to have bactericidal, fungicidal, and antiparasitic properties. As a consequence, many traditional therapists develop bandages for wounds and fractures with fabrics tinted with plant extracts.

As documented before, cotton textile from Mali Bogolan, which is derived from the bark, roots and leaves of N'galama (Anogeissusleiocarpus) are very rich in tannins (17%). [4] Yellow color production is due to the interaction of flavone glycosides contained in plant extracts with the alkalis in the cotton fabric [5].

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Textile metrology laboratory of CERFITEX

Depending on the parameter to be characterized, different materials / chemicals were used to apply the standardized methods often adapted to internal test procedures. Thus, we made use of:

- Textile decomposition tools: ISO 7211: 1984 (textile analysis methods adapted to internal procedure);
- Butane gas fitted with a bunsen burner: EN 149: 2001-A1: 2009 (method for determining the flammability of the material of the masks suitable for the internal procedure);
- Method 1 (AFNOR SPEC S76-001: V1.10 04/27/2020, determination of respiratory resistance and air permeability);

- Method to be told by experts (AFNOR SPEC S76-001: V1.10 04/27/2020, determination of the filtration efficiency of the material);
- Method for determining respiratory resistance (AFNOR SPEC S76-001: V1.10 04/27/2020);
- Internal procedure for determining the composition of textile materials.

2.2 Finishing workshop of CERFITEX

The materials used are: Water bath, stainless steel cups, precision scales, plastic tubs or buckets, sieve (gauze), spoons, clock, household gloves, rope and clothespins, rod (glass or wood), potash, alum, leaf de n'galama, pH paper, pestle and mortar, kitchen thermometer, calculator, notebook, pens and camera.

2.3 Textile description

The material used is 100% cotton. The texture of the fabric is such that it is woven in plain weave and has 30 threads per cm and 21 picks per cm. It is a poplin fabric having a basis weight of 131 GSM.

2.4 Preparation before dyeing

The fabric being already mercerized must only undergo a wetting operation (water, water + detergent or wetting agent) which facilitates its contact with the treatment bath. This can be done before or during treatment. Thus, it would be preferable to use plain, tape water or, in the case of the primed fabric, water + detergent (soap or soap powder) for better bathing and unison contact at a lower cost.

2.5 Dyeing Process

Most natural dyes have no affinity for cellulose (cotton). To create it, an etching treatment (before, simultaneously or after) is necessary.

The process adopted for dyeing is as follows:

Dyeing bath preparation → pre-mordanting → Dying → Post-mordanting → Washing → Drying → finishing (ironing)

2.5.1 Preparation of dyeing bath

The leaves of n'galama (*Anogéissusleiocarpus*) are dissolved in water to extract the coloring molecules.

(a) Composition

Dry powder or n'galama's leaf weighed: 1 to 7 times the dry weight of the fabric to be dyed

(b) Equation

$$\text{bath ratio} = 1/40 \quad (1)$$

$$\text{Volume of bath} = \frac{\text{Powder weight}}{\text{bath ratio}} \quad (2)$$

$$\text{Final bath (coloring solution)} = \frac{\text{Volume of bath} - \text{weight of the powder weighed}}{\quad} \quad (3)$$

(c) Procedure (classical method with two extractions)

- Boil the n'galama leaf powder for 30 minutes in a volume of water corresponding to a little more than half of the final bath;
- Filter, reserve the juice, and recover the coloring matter;
- Repeat the operation with new water;
- Gather the juices. It is the final ready-to-use bath.

2.5.2 Fabric mordanting

(a) Composition

Table 1: Composition of mordanting recipe

Fabric	10 g
Alum	1 g
NaOH	0.5 g
Complete to 200 mL	

(b) Procedure

- Soak the fabric in the mordant bath heated to 60-70 ° C for 30 min, stirring occasionally;
- Wring out the fabric and spread it out on the ground without clay or on a rope for at least 30 minutes to promote the oxidation of the bite;
- Rinse thoroughly and let dry.
- The fabric is ready to dye

2.5.3 Dyeing process

(a) Equation

$$\text{bath ratio} = 1/30 \quad (4)$$

$$\text{Volume of bath} = \frac{\text{fabric weight}}{\text{bath ratio}} \quad (5)$$

$$\text{Volume of dye to sampled or collected} = \frac{\text{volume of bath} - \text{fabric weight}}{\quad} \quad (6)$$

(b) Procedure

- Soak the fabric in the dye bath at room temperature
- Allow the temperature to rise slowly to 60-90 ° C while stirring occasionally for 10-20 minutes at this temperature
- Remove the fabric from the bath by wringing out gently and spread it on the clay-free floor or on a rope until partially dry
- Repeat this process 2 to 3 times if necessary to have the desired color
- Mordanting fabric again with the same recipe and process described above.
- Wash 2 to 5 minutes at 40 ° C with mild soap
- Dry and make finishing (ironing here)

2.6 Face mask conception

The dimensions and shape of the material parts are designed so that after assembly with the set of flanges, the barrier mask can be adjusted to the user's body shape. And thus, ensure a good seal. The pieces are assembled together and with the set of flanges by stitching. The barrier mask consists of three (3) layers of the same material (100% cotton) and a set of flexible elastic straps. Depending on their size, we distinguish between the set of straps adapted to the ears ($\approx 20\text{cm} \times 2$) and the set of straps passing behind the head ($\approx 35\text{cm} \times 2$). These dimensions should make it possible to avoid excessive tightening of the head and to ensure comfort for the user of the mask. The hygiene conditions are impeccable when making the masks. Finally, we recommend cleaning the masks before use while specifying the washing procedure on the labels.

2.7 Washing process for some samples send to LaboRem

2.7.1 Preparation of soap solution

- 15 g of usual cleaning soap powder was diluted in 2.5 l of tap water;
- Each solution was made for 5 samples.

2.7.2 Washing

Operations were made by the same person in order to warranties method and harmonize the mechanical force applied on samples.

Each sample was rubbed with hand 100 (hundred) times. We hypothesize each 10 rubbing was assimilated to one washing. So we can conclude this samples was wash ten (10) times.

Each sample was rinsed four (4) times in 2.5l of tap water in view to eliminate all of the soap or other contaminant particles. During each bath of rinsing operator practice hand rubbing ten (10) times.

After cleaning samples were dry during four (4) hours in intern area away from mainly dust.

Samples were conditioned with cleaned hand in plastics and send to LoboRem for analysis.

2.8 Methods used in LaboRem

2.8.1 Determination of the efficiency of particle filtration (EPF)

Three (3) unwashed beige colored masks and 3 washed beige colored masks were tested for their particle filtration capabilities after spraying with a sodium chloride-based aerosol stream as described in the ASTM F2100 standard. - 11. Controls (3 for washed masks and 3 for unwashed masks) were sprayed with an aerosol stream that did not contain sodium chloride.

Six (6) other masks treated with a plant extract (yellow colored masks), 3 of which were washed, were also tested for their particle filtration efficiency according to the method described in the ASTM F2100-11 standard. As with the untreated masks, controls (3 for washed masks and 3 for unwashed masks) were sprayed with an aerosol stream that did not contain sodium chloride.

2.8.2 Determination of the efficiency of bacterial filtration (EBF)

The same treatment plan and method described in the ASTM F2100-11 standard for determining the effectiveness of masks in filtering out bacteria were used. Twelve (12) masks (including 3 untreated unwashed, 3 untreated but washed, 3 treated unwashed and 3 treated and washed) were sprayed with an aerosol stream containing bacteria. For each category of mask, we set up 3 controls treated with an aerosol stream that did not contain bacteria. Efficacy of treatment on bacteria deposited on the external surface of the masks was evaluated.

2.8.3 Effectiveness of the treatment on bacteria deposited on the external surface of the masks

The quantity of mask bacteria treated or not and washed or not was determined by taking the bacteria from 1 cm² of the mask using a sterile swab. After 30 minutes and 1 hour of incubation, samples were taken. Decimal dilution series were performed for each sample and 100 μl of each dilution were plated on solid TSA medium. After 24 hours, the bacterial microflora was determined for each type of mask.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1 Characterizations in CERFITEX

In accordance with document AFNOR SPEC S76-001: V1.10 27/04/2020, a conformity assessment of barrier masks was carried out by the textile metrology laboratory of CERFITEX. The tests concerned: the type of material (composition and texture), visual inspection, the filtration efficiency of 3 μm particles (According to experts following the specification of the material), respiratory resistance and permeability to water air (method 1), the resistance of the flange set and the flammability of the material (EN 149: 2001-A1:2009).

The barrier masks have thus been declared compliant with AFNOR SPEC S76-001: V1.10 27/04/2020 documents (see figure 1) and therefore with ECOSTAND standard 082 2020.

To characterize the filtration capacity of smaller particles ($<3\mu\text{m}$) per test, other tests were carried out at LaboRem (FST). Thus, the masks are classified category 1 (filtration capacity $>90\%$).

Table 2: Result of the conformity assessment carried out at CERFITEX barrier masks

1	Material	Plain weave woven fabric with a basis weight of 131 GSM (Poplin). Fabric comprising 30 threads per cm and 21 picks per cm.	AFNOR SPEC S76-001: 2020	Compliant
2	Visual inspection	Pleated barrier mask in mercerized cotton fabric respecting the folds and technical dimensions. Mask surface free from apparent defects. Face piece mask made of three layers of the same material and covering the nose, mouth and chin tightly. Pleated barrier masks with different parts assembled by stitching with flexible elastic head harness passing behind the ears or the head.	AFNOR SPEC S76-001: 2020	Compliant
3	Penetration of filter material 3µm particles	Contexture similar to material 689 (compliant with category 2) from the list of materials available on the website www.afnor.org	AFNOR SPEC S76-001: 2020	Compliant at least with category 2
4	Breathing resistance	Contexture similar to material 689 (compliant with category 2) from the list of materials available on the site www.afnor.org	AFNOR SPEC S76-001: 2020	Compliant

1	Material	Plain weave woven fabric with a basis weight of 131 GSM (Poplin). Fabric comprising 30 threads per cm and 21 picks per cm.	AFNOR SPEC S76-001: 2020	Compliant
5	Resistance of the head harness	Very elastic material making the mask easy to adjust, wear and remove. Insignificant plastic deformation after the test carried out by three subjects of different morphology: put on and take off the mask 5 times in a row. Head harness fixed by sewing. Head harness designed so that the mask can be put on and taken off easily and so as to avoid	AFNOR SPEC S76-001: 2020	Compliant
6	Flammability	Will not burn after exposure for 15 seconds to 20 mm of a 40 ± 2 mm flame (temperature $\approx 800 \pm 50$ ° C).	Test adapted according to standard EN 149: 2001 + A1: 2009	Compliant

All of the tests made by CERFITEX on fabric used and mask barrier physical and others properties are compliant with standard.

3.2 Characterizations in LaboRem (FST)

3.2.1 Determination of the efficiency of particle filtration (EPF)

100% of the masks tested are effective and the rest even after washing and therefore are of very good quality according to the ASTM F2100-11 standard. And those after 10 washings.

3.2.2 Determination of the efficiency of bacterial filtration (EBF)

100% of the masks tested effectively filter bacteria and the rest even after washing. They are therefore of very good quality according to the ASTM F2100-11 standard.

3.2.3 Effectiveness of the treatment on bacteria deposited on the external surface of the masks

After 30 minutes, the external surface of treated masks contains 33% less bacteria than that of untreated masks. Even after washing, the treatment remains 33% effective.

After 1 hour of time we did not notice any statically significant differences although we

observed a slight decrease in the number of bacteria.

Likewise, after 1 day no change is noticed.

Table 3: Result of the conformity assessment of LaboRem on barrier masks

Type of test	Observation	Standard/ specification	Decision
Efficiency of particle filtration (EPF)*	Masks made with a cotton fabric treated or not and washed or not; showed a barrier effect of 100% efficiency, after spraying with a stream of sodium chloride aerosol.	ASTM F2100-11	Compliant (EPFLII 98%)
Determination of the efficiency of bacterial filtration (EBF)**	The masks made with a cotton fabric treated or not and washed or not showed a barrier effect of 100% effectiveness, after spraying a stream of aerosol based on bacteria.	ASTM F2100-11	Compliant (EBF ~ 98%)

* Represents the percentage of bacteria from 1 to 5 micrometers filtered

** Represents the percentage of particles 0.1 to 1.0 micrometers filtered

CONCLUSION AND PERSPECTIVES

All of the tests made by CERFITEX on fabric used and mask barrier physical and others properties are compliant with standard.

Samples of untreated cotton barrier masks of beige color (washed or unwashed) and treated of yellow color (washed or unwashed) respectively registered under the numbers 003/04 / FST LaboREM-Biotech2020 and 013/04 / FST LaboREM-Biotech2020 have shown high filtration efficiency of particles and bacteria and have therefore been declared to comply with ASTM F2100 (ASTM = American Society of Testing and Materials) for face mask materials according to the level of performance.

EFP and EFB were determined after 10 washes to determine. Masks are always effective. However from the perspective of research, the number of washes from which the efficiency decreases should be determined.

The treatment of the mask fabric with N'galama made it possible to reduce the number of bacteria on the external surface of the masks by 33%. In the perspectives, the determination of the Minimum Inhibitory Concentration (MIC) of the product on a mixture of Gram + and Gram- bacteria, we will be able to determine the amount of N'galamato be applied on each mask to minimize the risk of contamination with bacteria that can long survive on masks

REFERENCES

- [1] R. Pageard, "plantes à brûler chez les Bambara", Journal of "Africanistes", 37-1, pp. 87-130, 1967.
- [2] L Tauxier, la religion Bambara, Geuthner, Paris,p.298, 1927
- [3] D. Cordon, Natural Dyes, Tradition, technology and Science, Archetype Publications, p.778, 2007
- [4] P. Duponchel, Textile de coton : bogolan du Mali. Teinture de plantes et de terre, Annuaire, Tome 106, P.605, 1997-1998
- [5] J.B.Donne, "Bogolanfini : A mud -Painted Cloth from Mali", Man.8 (1), JSTOR 2800615, 1973

L'impact de la Covid19 sur la formation et le rendement des apprenants de l'enseignement général secondaire, professionnel et technique en fin cycle: cas des écoles au Mali

Mamadi KEITA^{1*}, Moussa THIAM^{2,3}, Abderrahmane GADEMI¹

¹Institut des Sciences Politiques Relations Internationales et Communication, Mali

²Ecole Normale d'Enseignement Technique et Professionnel

³Université d'Ottawa, Canada

*Courriel de l'auteur de correspondance: mamadikokeita@gmail.com

RÉSUMÉ: La deuxième décennie du XXI^{ème} siècle a été marquée par l'une des plus grandes crises sanitaires que le monde a connues. La pandémie à corona virus appelé la covid19 a affecté l'école malienne ainsi que tous les secteurs en imposant une crise sanitaire sans précédent. Le système scolaire malien connaît une crise multidimensionnelle depuis l'avènement de la démocratie en 1991. Ainsi l'école malienne déjà plongée dans une multitude de crises due à la grève des enseignants, aux débrayages des élèves et étudiants, au faible moyen de l'État, à la crise sécuritaire du Nord et à la pandémie de covid19. Cette crise a conduit à la fermeture de toutes les écoles pendant au moins 4 mois au cours de l'année scolaire 2019-2020. Les raisons de la fermeture des classes pour cause de covid19 sont une politique des autorités sanitaires afin de renforcer leurs stratégies de lutte contre la propagation du virus qui se transmet par contact humain et objet. De ce fait notre étude sur l'impact de la pandémie sur la formation et le rendement des élèves dans certaines écoles secondaires maliennes consiste à comprendre:

- Le mode de gestion de la crise sanitaire par les autorités sanitaires auprès des écoles secondaires
- Les mesures d'accompagnement déployées pour maintenir la continuité de la formation des apprenants
- Analyser l'effet de la covid19 sur le rendement des élèves en classes d'examen de fin de cycle secondaire.
- Évaluer les mesures sanitaires des établissements secondaires, professionnels et techniques

Le contexte de la crise sanitaire de covid19 reste un défi planétaire et ne fait l'objet d'un monopole de compréhension scientifique. L'ensemble des découvertes et données sur la pandémie font l'objet de contestation et de division permanente entre spécialistes de la santé. A la conclusion de ce travail, une analyse des sondages des différents acteurs de l'éducation secondaire, nous a permis de mettre la lumière sur certaines réalités et formuler des recommandations futures.

Mots-clés: crises sanitaires, corona virus, l'école malienne, élèves, acteurs de l'éducation, covid19, rendement

1. INTRODUCTION

Le monde du XXI^{ème} siècle marque un grand tournant dans l'histoire de l'humanité à travers les évolutions technologiques. Cet élan d'avancement le met en défi face à de grandes crises tant économique, naturelle, conflictuelle, sécuritaire et sanitaire, qui exigent des solutions adaptées et évolutives selon le contexte très souvent pas permanentes.

Le siècle d'avant était conflictuel entre les pays du monde en quête de suprématie pour mériter la domination militaire et économique du monde. L'Afrique se libérait de la jouée d'une domination coloniale Européenne qui a duré plusieurs siècles en accédant à l'indépendance de tous les pays.

Ainsi l'année 2020 a été particulièrement marquée par une crise sanitaire sans précédent ayant été déclarée en Chine pour la première fois par l'organisation mondiale de la santé. Elle a eu un impact négatif sur toutes les activités humaines dans le monde.

Les pays du monde ont vite pris des mesures de riposte pour faire face à la crise sanitaire pour protéger les populations et assurer la circulation des biens de première nécessité.

Ainsi, au Mali les autorités ont tardé à déclarer des cas de contamination à la veille de l'élection législative qui reste une priorité pour les autorités du pays.

En outre, les premiers cas ont été déclarés le 25 mars 2020 avec des compatriotes venus de la France lors du dernier vol de transport commercial entre les deux pays, une dame à Bamako et un homme à Kayes.

C'est en ce sens que dans une parution du journal (The conversation: 2020) défendait cela :

“ L'expérience malienne dans la gestion de la pandémie du Covid-19 : « ...Un élément particulier a semblé expliquer la raison pour laquelle les autorités maliennes ont tardé à rendre publics les premiers cas de contamination : malgré les

nombreuses demandes de report exprimées par une partie de la classe politique et des organisations de la société civile – eu égard à la fois aux contextes sécuritaire et sanitaire – le président Ibrahim Boubacar Kéita (IBK) a personnellement décidé du maintien des élections législatives, dont le premier tour s'est tenu le 29 mars 2020 et le second tour le 19 avril ». Selon l'oragne de presse FIGARO.

Cela laisse croire que l'imprudence dans la gestion de la crise sanitaire par les autorités maliennes à contribuer à la flambée des cas de contamination de covid19. De ce fait, la hausse exponentielle des cas contractés était imputable à la gestion de la crise de façon générale sur toute l'étendue du territoire par les autorités.

Les autorités maliennes avec la présence du virus dans les pays de la sous-région ont annoncé avoir déployé des dispositions sur les mesures sanitaires pour faire face à la pandémie. Des cas de covid19 dans les pays frontaliers ont été signalés successivement : en Algérie le 3 février; le Niger le 27 février; le Sénégal 2 mars; le Burkina Faso le 9 mars; la Mauritanie et en Guinée le 13 mars; la côte d'ivoire le 23 mars.

De ce fait l'impuissance des autorités sanitaires peinent à exiger le respect des mesures barrières dans les lieux de regroupement ou les services, les populations craignent de se faire déclarer positives à la COVID 19 malgré que quelques hommes influents du pays ont rendu public leur contamination.

La méfiance grandie quant à l'existence de la covid19, car les populations ont un doute préétabli sur tout ce qu'affirme le gouvernement malien ou prévoit de mener pour elles.

Les populations maliennes vivent d'activités de commerce, d'élevage, d'agriculture majoritairement et font des travaux quotidiens pour subvenir aux besoins dans les secteurs tertiaires, l'arrêt des activités a une conséquence immédiate sur la survie des populations car comme le dit un adage très populaire au Mali " nous cherchons aujourd'hui ce que nous mangeons demain."

Voyant l'ensemble des évolutions et des décisions prises lors des périodes concernées, plusieurs impacts et implications sur l'école de façon générale ont été observés. Ainsi, nous nous sommes proposées de mener une étude pour comprendre l'impact de la crise sanitaire de covid19 sur la formation et le rendement des élèves des classes terminales secondaires du Mali. Pour mieux appréhender la situation, nous nous sommes fixées comme objectifs de : Comprendre l'impact de la covid19 sur l'école malienne.

Matérialiser l'effet de la covid19 sur la formation et le rendement de l'apprenant.

Évaluer le dispositif sanitaire établi dans les établissements public et privé d'enseignement secondaire, technique et professionnel.

Pour cela nous voudrions à travers ce travail mettre la lumière sur quelques points, qui sont :

- Comprendre l'attitude des apprenants face à la pandémie de l'année scolaire 2019-2020
- Analyser l'impact de la covid19 sur le fonctionnement des établissements scolaires
- Étudier l'environnement dans lequel la formation des apprenants se poursuit
- Évaluer les mesures sanitaires dans les établissements d'enseignement secondaire
- Évaluer le dispositif technologique déployé pour la formation continue
- Contribuer à la prise de décision sur les mesures de fonctionnement de l'école malienne
- Proposer des mécanismes de gestion de rapport établissement/apprenant en temps de crise

Cependant ces travaux sur l'impact de la pandémie sur l'école malienne devront s'appuyer sur les politiques publiques prises par l'État pour faire face à la crise sanitaire. De ce fait l'arrêt de toute activité éducative pour faute de disposition contribue de plus à la baisse de niveau des élèves. Ainsi quel impact la covid19 a eu sur la formation et le rendement des élèves finalistes au Mali pendant l'année scolaire 2019-2020.

Pour comprendre cette question et apporter des éléments de réponse nous allons mener une enquête de terrain auprès des élèves, enseignants, parents d'élèves et membres de l'administration scolaire de certaines écoles secondaires du Mali en leur envoyant un sondage en ligne.

2. METHODOLOGIE

Dans le cadre de cette étude, nous avons procédé de la manière suivante:

- Faire une recherche documentaire sur les rapports et articles scientifiques en lien avec la pandémie en général et au Mali en particulier
- Mener un entretien directionnel sur le terrain
- Elaborer des questionnaires d'enquête auprès des responsables et apprenants sur leur expérience sur la covid19
- Faire des tours pour Observer les dispositifs sanitaires dans les établissements scolaires
- Analyser les données
- Faire le traitement des données

III. ANALYSE ET PRESENTATION DES RESULTATS

Nous avons procédé au recueil des données dans le cadre de ce travail à travers la soumission d'un questionnaire en ligne auprès des acteurs de l'éducation sur leur expérience sur la crise sanitaire de covid19 au sein de l'école malienne.

L'enquête a été mise en ligne le lundi 3 mai pour prendre fin le dimanche 9 mai à minuit, s'adressait à tout malien se retrouvant dans la catégorie des personnes concernées.

Nous avons inclus une première phase de présentation avec des informations générales qui ne demandaient que le nom et le prénom. En tout, 100 personnes ont répondu, dont 72 hommes et 18 femmes.

Les catégories de personne selon leur âge, leur statut social et leur nombre respectif ayant répondu au questionnaire sont : les responsables scolaires et les enseignants 32 soit 35,5% ; les parents d'élèves 10 soit 11% et les apprenants 48 soit 53,3%. Les tranches d'âge étaient comprises entre 58 à 15 ans. La figure 1 montre l'indentification des répondants par tranche d'âge.

Les répondant devaient aussi spécifier le statut de leur établissement scolaire, nous avons eu 58 établissements publics soit 63,7% contre 33 établissements privés soit 36,3%.

Les personnes qui ont répondu à l'enquête venaient des académies suivantes: académie de la rive droite de Bamako, académie de la rive gauche de Bamako, académie de Kati, académie de Nioro, académie de Ségou, académie de Koulikoro, académie de Sikasso, académie de San, académie de Mopti, académie de Douentza, académie de Kita.

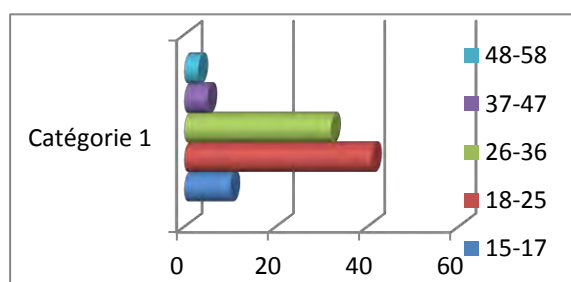


Figure 1 : tranche d'âge des répondants.

Ainsi le questionnaire incluait deux parties essentielles qui sont: 1^{ère} partie l'identification du répondant et 2^{ème} partie réponse aux questions sur la covid19 en milieu scolaire.

1^{ère} partie: IDENTIFICATION DES REpondants

Tableau n°1: Les personnes ayant répondu au questionnaire par sexe sont 80% de masculin et 20% de féminin. Ainsi une large portion des repondants

était constituée de masculin, avec une différence énorme entre les deux groupes.

*Nous aurions souhaité avoir la réaction de plus de femmes et filles sur leurs expériences de la crise sanitaire de covid19 en milieu scolaire.

En regroupant les personnes ayant répondu au questionnaire par tranche d'âges, on remarquera aisément que le milieu scolaire est le lieu de rencontre des générations de par leur différence d'âge nous avons tenu à comprendre leur avis sur l'effet de la pandémie et partager leur expérience pendant cette période.

La tranche ayant le plus réagit à l'enquête est de 18 à 25 ans; cela s'explique par le fait que l'outil numérique est plus utilisé par les jeunes que les plus âgés qui ne sont pas familiarisés avec les TICs.

La deuxième tranche ayant le plus réagit est de 26 à 36 ans, cette couche regorge plus d'enseignants dans les écoles, publiques que privées car la population malienne est jeune aussi.

La troisième tranche d'âge est de 15 à 17 ans, les moins âgés dans le cadre de cette enquête.

L'avant dernière tranche est de 37 à 47 ans et la dernière est de 48 à 58 ans sont les gens qui sont des générations pas trop familières avec les TICs.

Quant au statut social des répondants' il est fortement dominé par les apprenants qui sont finalistes du niveau secondaire de l'année scolaire 2019-2020 et de 2020-2021 de l'enseignement général, technique et professionnel. Ainsi la représentation est faite comme suite: les apprenants 59%, les enseignants 38%, les parents d'élèves 2% et 1% pour les professeurs.

L'enquête s'adressait aux établissements publics et privés pour comparer le mode de fonctionnement de ces établissements, spécifiquement en cette période de crise sanitaire générale. Les résultats ont prouvé que 64% des répondants sont dans les établissements publics par contre 36% sont des établissements privés.

Cet écart entre le public et le privé est surprenant mais nous révèle un sentiment des responsables dans les établissements de s'exprimer sur leur condition de travail.

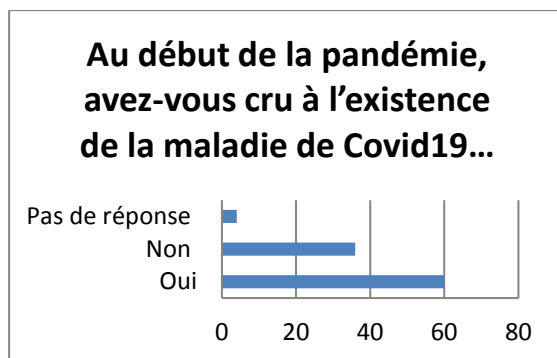


Figure 2 : Existence de la pandémie

Par rapport aux réponses reçues des questions sur la covid19 en milieu scolaire, nous avons adressé un questionnaire aux acteurs de l'éducation malienne pour comprendre leur expérience de la pandémie en rapport avec la formation et le rendement des apprenants finalistes pendant toute la période de covid19.

Les avis divergent sur l'existence même de la pandémie parce que beaucoup affirment ne pas croire à ce que les autorités maliennes affirment leur concernant, nous avons voulu comprendre cette attitude dans la première question.

Quant à la question en lien avec l'existence de la pandémie en milieu scolaire au Mali, il était demandé si **au début de la pandémie, avez-vous cru à l'existence de la maladie de Covid19? Sinon de donner les raisons.** 60% ont répondu par Oui et 36% ont répondu par non avec diverses raisons qui rapportent le plus souvent sur la crédibilité des autorités, sur les médias, sur la présence des patients dans leur cercle de connaissance, etc. Ces mêmes incertitudes existaient au niveau de la population générale y compris certains acteurs du secteur de la santé, qui sont souvent pris en exemple pour les jeunes.

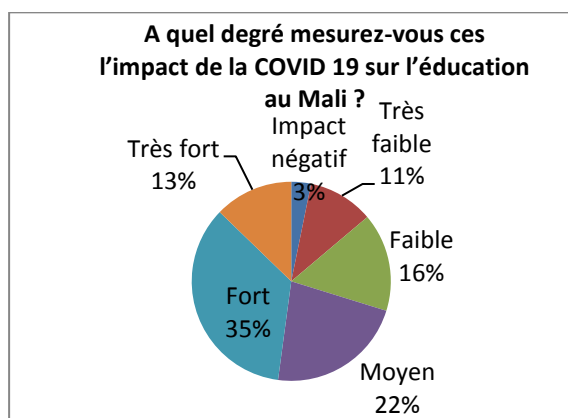


Figure 3 : L'impact de la pandémie sur l'éducation.

Les répondants ont affirmé majoritairement avoir cru à l'existence de la pandémie, 60%, de par les informations émises par les autorités sanitaires partout dans le monde. D'autres aussi affirment que

certaines de leurs proches ont été contaminés par la covid19. Par contre, certains avancent des propos douteux sur la façon dont le gouvernement malien a mis en œuvre sa communication sur le nombre de malade. 36% ne croient pas à l'existence de la pandémie au Mali. Enfin 4% ne disent rien par rapport à la question, ce taux d'abstention peut aussi avoir son lot d'interprétations avec une possibilité de lier les raisons à l'efficacité des mesures futures.

Les conséquences subies par l'école sont semblables à celles des autres secteurs mais dans la résolution de la situation le cas de l'école est fortement délaissé dans les politiques de riposte à la Covid-19. De ce fait, nous avons posé la deuxième question sur l'impact de la pandémie sur l'éducation malienne.

Pour savoir à **quel degré les participants mesurent l'impact de la COVID 19 sur l'éducation au Mali ?**

L'impact de la pandémie à corona virus divise les opinions sur ce que vit l'école malienne de par les multiples crises qu'elle traverse depuis plusieurs décennies selon nos répondants. Malgré cela, les répondants jusqu'à 35% affirmaient que la covid19 a un impact fort, 22% ont jugé que l'impact est moyen, 13% disent que l'impact est très fort, par contre, 16% trouvent que l'impact de la covid19 est moyen, 11% ont choisi que c'est très faible et enfin 3% ne disent rien. Les avis divergent sur l'impact de la covid19 sur l'éducation parce que les expériences sont différentes.

Ceux qui ont bénéficié de l'aide extérieure ont subi moins de conséquences que ceux qui n'ont pas eu d'assistance. Nous avons remarqué de ce fait que ceux qui pensent que la covid19 a eu un impact sur la formation et le rendement des apprenants l'emportent sur ceux qui pensent que cette crise n'a pas eu d'impact significatif sur l'école malienne.

À la question de savoir s'ils ont **bénéficié des mesures d'accompagnement pendant cette crise sanitaire de covid19 ? sinon d'expliquer les raisons.** Chaque acteur de l'éducation a dû faire face à la pandémie sans préparation à de telle éventualité brusque sans prévention préalable malgré le peu de temps avant la déclaration du premier cas, ce qui aurait permis aux autorités de faire un plan de communication efficace et adaptée afin de mieux aider les établissements scolaires.

Chaque personne, pour le respect efficace des mesures barrières et la limitation de la chaîne de contamination, il fallait avoir du matériel sanitaire non pharmaceutique. Les répondants ayant vécu la crise sanitaire devaient assurer la continuité du programme pour les apprenants finalistes. Et cette question nous a permis de comprendre si les uns et les autres ont bénéficié des mesures d'accompagnement.

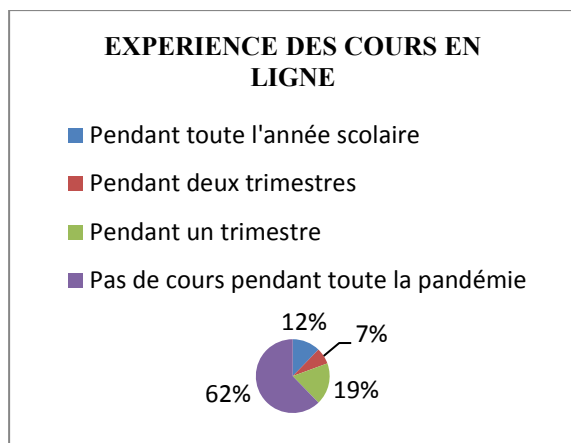


Figure 4 : Expérience des cours en ligne.

Qu'est-ce que l'Etat vous a apporté pour vous protéger contre la covid19?

Au regard de l'urgence sanitaire qui était le temps de protéger l'ensemble de la population mondiale, les autorités sanitaires maliennes ont entrepris des actions de distributions de matériel sanitaire pour permettre aux populations de se protéger contre le virus. Cela a influencé le nombre de répondant ayant affirmés avoir bénéficié des mesures d'accompagnement pendant la période de crise sanitaire. De ce fait 76% des personnes ayant répondu par oui ont reçu entre autres des formations, de l'information, des bavettes, des gels, des gants pour se protéger du virus et par contre d'autres surtout des établissements publics hors de la capitale Bamako à 22% ont affirmé n'avoir pas bénéficié des mesures d'accompagnement des autorités maliennes pendant cette crise sanitaire dans leurs établissements. Et 2% ne disent rien sur la question. D'où la crédibilité des propos de certains détracteurs de l'efficacité de la gestion gouvernementale de la crise avec son lot de corruption autour des fonds selon nos enquêtes.

Si la question précédente cherchait ce que les acteurs de l'éducation malienne ont bénéficié pendant cette crise sanitaire de la part des autorités la quatrième question leur demandait de spécifier ce que l'Etat a apporté comme aide aux établissements.

Pour survivre à cette pandémie covid19 contagieuse les responsables scolaires et les apprenants ont dû faire face à une situation bouleversante sur leur mode de vie habituel. En outre, l'application des consignes sanitaires ne prévoyait pas la continuité du programme scolaire en République du Mali.

Les autorités sanitaires ont doté certaines écoles de matériel sanitaire non pharmaceutique pour s'assurer d'une propriété constante au sein de leur établissement. Ainsi, dans les réponses 31% affirment n'avoir rien reçu pour se protéger de la pandémie de la part de l'Etat. Et une grande partie des répondants, 75%, affirment que l'Etat leur a apporté quelque chose pour se protéger contre la

covid19. Parmi les aides qu'ils affirment avoir reçu, nous pouvons énumérer les kits sanitaires, du matériel de cours à distance, des formations sur les mesures barrières et de l'assistance pour les cours à distance.

Dans la partie des autres réponses à préciser qui représente 2% des répondants beaucoup affirment n'avoir rien reçu de l'Etat, d'autres disent avoir payé les masques et gels destinées à la population.

Voyant la disparité des méthodes dans les différentes régions du pays et dépendant du secteur (public ou privé), il a été demandé aux participants la question de savoir s'ils **initié ou participé à un programme de cours à distance pour les candidats aux examens de fin d'année 2019-2020?**

La gestion de la crise sanitaire de covid19 implique que chaque personne se protège pour sauver soi-même et les autres. De ce fait, les acteurs de l'éducation doivent s'impliquer au-delà des moyens disponibles pour assurer la continuité du programme scolaire pour les apprenants finalistes des années scolaires 2019-2020 et de 2020-2021.

Nous avons, à travers la cinquième question, voulu comprendre l'expérience des acteurs de l'éducation pour la tenue des cours en ligne. Les expériences de cours pendant la pandémie, surtout l'expérience des cours en ligne constituaient les points essentiels, les répondants devaient choisir entre le fait d'avoir suivi le programme toute l'année scolaire, pendant deux trimestres, pendant un trimestre ou rien du tout pendant toute la pandémie. La différence entre les réponses s'explique par les nombreuses crises auxquelles l'école malienne fait face depuis plusieurs décennies, la non adaptation du curriculum et le manque de formation aux NTICs des enseignants et élèves pour des fins académiques. Après la soumission de notre questionnaire, nous avons recueilli que 62% des répondants n'ont pas tenu de cours pendant toute l'année scolaire, cela s'explique par le fait que 64% de répondants viennent des établissements publics. Pour ceux qui ont eu la chance de tenir des cours soit en présentiel ou en ligne nous avons trois catégories: la première pendant un trimestre nous avons 19%, pendant toute l'année nous avons 12% et 7% pendant deux trimestres.

Dans les réponses à cette question nous comprenons la grande disparité entre les apprenants dus à leur appartenance sociale et leur lieu de résidence.

Ainsi des facteurs défavorisant d'autres plus éloignés de la capitale par rapport à certains établissements de Bamako créaient une grande disparité entre les expériences des apprenants.

A la question de savoir s'ils avaient **tenu un programme régulier d'évaluation pendant la covid19?**

L'impact de la pandémie a bouleversé le milieu scolaire comme tous les secteurs d'activité, la particularité de cette crise dans la zone d'étude révèle beaucoup d'inquiétude. De ce fait la question cherche à comprendre l'impact de la covid19 sur la tenue des évaluations dans les établissements d'enseignements secondaire, professionnel et technique. Les résultats démontrent que 66% des personnes ayant répondu n'ont pas tenu un programme d'évaluation pendant toute l'année scolaire 2019-2020. Par contre 29% affirment avoir fait pendant le premier trimestre une évaluation et enfin 5% disent avoir fait deux évaluations pendant l'année scolaire.

Pour avoir plus l'approche participative fortement recommandée pour les études de cette nature, il a été demandé aux participants les **insuffisances qu'ils ont constaté pendant la crise sanitaire de covid19?** La gestion de la crise sanitaire implique de mettre à la disposition des populations des moyens de se protéger contre les contaminations. Ces mesures se font avec du matériel de lavage des mains, des gels hydro alcoolique et du respect des mesures barrières.

De ce fait la fermeture des classes fut adoptée dans le cadre des politiques des autorités sanitaires pour lutter contre la propagation de la covid19, elle a eu des conséquences négatives sur l'année scolaire. Dans les résultats 75% des répondants disent que les insuffisances étaient liées aux dispositifs du respect des mesures barrières dans les lieux publics, 12% trouvent que les établissements manquaient de moyen et de matériels sanitaires, et 13% disent que les insuffisances se trouvaient sur les informations sur la maladie. Nous remarquons dans ces réactions que les établissements scolaires n'ont pas bénéficié d'appui consistant pour faire face à la crise sanitaire ni en matériel, ni en information, ni en conseil surtout ceux éloignés de la capitale. Cette insuffisance a impacté négativement sur la tenue régulière des programmes scolaires et beaucoup d'écoles n'ont pas à cet effet tenu des évaluations pendant toute l'année scolaire, ce qui aura de l'impact direct sur la qualité de l'éducation et les produits finis des formations scolaires et universitaires dans les années à venir.

Dans le sondage réalisé par l'e-learning Africa sur l'impact de la pandémie sur l'école en Afrique, il a été relevé trois obstacles majeurs par les répondants en lien avec la fermeture de l'école en Afrique pendant la crise sanitaire. Ces obstacles sont: un manque d'accès aux technologies, un environnement d'apprentissage à domicile inadapté et un manque d'accès aux supports d'apprentissage. Ces obstacles sont aussi valables dans le cas des écoles secondaires du Mali de façon plus amplifiée. Ainsi, nous avons tenu tout de même à savoir **si le programme scolaire de votre école a été épuisé? Sinon pourquoi ?**

Le défi des autorités de l'éducation comme pendant chaque année scolaire est de voir le programme de l'année épuisé même si des établissements semblent ne pas être en mesure de le faire. Le contexte de pandémie intervient en République du Mali dans une école paralysée par de nombreuses situations qui handicapent son fonctionnement surtout dans les publics.

Nous avons d'abord compris que des réajustements devaient intervenir dans l'enseignement qui prend une nouvelle forme. L'éducation fait désormais recours à de nouvelles techniques de l'information et de la communication (TICs). Parmi les personnes ayant réagi à la question 22% ont répondu par oui pour avoir épuisé leur programme pendant l'année contre 52% qui ont répondu par non et ont donné leurs raisons qui sont entre autre des raisons liées au confinement. Selon les répondants les mois passés dans le confinement sans mesures permettant la poursuite des cours en ligne ont bouleversé l'année scolaire qui n'a pas pu se terminer à souhait dans leur établissement. Et à la fin 26% n'ont rien dit comme réponse à la question, un taux important qui doit être pris en compte pour avoir des options d'avenir pour le secteur de l'éducation.

Aussi, nous avons voulu savoir ce que pensent les participants des **informations, actions et formations de sensibilisation dans leurs établissements?**

En mars 2020 au regard des alertes données partout dans le monde sur le nouveau virus qui se propage en faisant des dégâts énormes, les autorités sanitaires et scolaires du Mali ont élaboré des politiques de lutte contre la covid19. De ce fait le ministère de l'éducation nationale a à travers son programme de riposte contre la covid19 défini quelques axes pour combattre la maladie, qui sont: *l'utilisation des technologies de l'information et de la communication pour l'enseignement (TICE) pour la continuité pédagogique, et les mesures pour la reprise des activités pédagogiques dans les structures éducatives des Ministères en charge de l'Éducation dans le contexte du COVID-19.*

Les établissements devaient en principe bénéficier de ces accompagnements pour pouvoir assurer la continuité du programme scolaire mais dans les réponses nous comprenons que tel n'a pas été le cas comme il se doit. La disparité dans les résultats et cette inégalité dans le partage des ressources de l'Etat a contribué à la dégradation du niveau des apprenants en cette période de pandémie. Nous avons eu 17% des répondants qui affirment avoir reçu des informations, des formations sur la pandémie à corona virus au sein de leur établissement pendant la covid19 ; 30% répondants disent n'avoir pas bénéficié dans leur établissement ni de formation ni d'information sur la covid19 pendant l'année scolaire 2019-2020. Et enfin 53% des répondants ne disent rien en réponse à cette question.

IV. SYNTHÈSE

Nous avons mené une enquête sur l'impact et la gestion de la covid19 sur la formation et le rendement des apprenants de l'enseignement général secondaire, professionnel et technique en fin cycle : cas de l'école au Mali. Le contexte de la pandémie n'a épargné aucun secteur d'activité dans le monde et le cas de l'école nous a le plus intéressé à cause du rôle de scolarisation que l'école joue ainsi que la préparation de la relève dans divers domaines sans compter les multiples avantages sociaux, culturels, économiques et environnementaux.

Au Mali, l'éducation qui est un droit fondamental est un luxe pour les enfants de la couche majoritaire et fait l'objet de plusieurs crises multidimensionnelles qui handicap son développement. De ce fait nous procédons à la synthèse de l'enquête que nous avons menée auprès des acteurs de l'éducation pour en sortir les grandes lignes qui ont influencé nos résultats sur la problématique. Nos questions ont été mise en ligne au mois de mai et à durer six jours; nous avons eu la réaction de cent personnes dont soixante douze hommes et dix huit femmes; les répondants étaient dans la tranche d'âge comprise entre 15 et 58 ans ; ces répondants sont dans 58 des établissements publics soit 63,7% et 33 établissements soit 36% des établissements privés ; enfin les répondants venaient de 11 académies. Parmi les répondants 60% affirment avoir cru à l'existence de la pandémie contre 36% qui doutent de son existence sur le sol malien cette attitude de ne pas croire se justifie par la méfiance qu'à certains maliens. L'impact de la covid19 sur l'éducation au Mali est une situation qui s'ajoute à une longue liste de problèmes à résoudre pour permettre aux apprenants d'avoir le niveau. La majorité des personnes ayant pris part à l'enquête ont répondu par oui quant à l'impact négatif de la pandémie sur la formation des apprenants. Nous avons lors du traitement des données compris que la gestion de la pandémie en milieu scolaire par les autorités sanitaires n'a pas été jugée efficace par beaucoup et plusieurs établissements n'ont reçu aucun accompagnement de l'Etat. Ainsi, le défi majeur des responsables scolaires était d'assurer une formation adéquate aux candidats aux examens de fin d'année puisque le dispositif de cours en ligne n'a pas jusqu'à présent pu garantir une continuité du programme scolaire. Nous avons porté ce travail de recherche sur l'année scolaire 2019-2020 car la pandémie a commencé quand elle était en cours. L'effet de la covid19 fait l'objet de débat au sein de l'école malienne d'abord par rapport aux mesures prises pour limiter la propagation du virus mais surtout la fermeture complète des classes sans réel plan de rouverture. Alors l'école malienne est restée fermée pendant au moins 4 mois, sans dispositif permettant aux candidats des différents niveaux de l'enseignement secondaire, professionnel et technique de continuer les expériences d'apprentissage de qualité. A la reprise des cours, le

calendrier des examens de fin d'année se fixe par le ministère de l'éducation nationale et les programmes ne sont pas exécutés permettant aux apprenants de se prêter à cet exercice qui marque une étape importante dans leur cursus. Sur les mesures d'accompagnement apportées par l'Etat pour apporter plus de compréhension des responsables scolaires dans la lutte contre la pandémie sont entre autre la formation, l'information, le respect des mesures barrières, la distribution de bavette et la distribution de gel hydro alcoolique. Les responsables scolaires sont en première ligne dans la lutte de la pandémie en milieu et aussi œuvrent pour assurer la continuité du programme scolaire. L'outil leur permettant de pouvoir fournir aux apprenants les connaissances était les cours en ligne, l'expérience d'alors de cela s'est révélée pas recue selon les réponses car plus de la moitié des répondants n'ont pas pu participer au cours en ligne ni de pouvoir les suivre. Concernant les examens pendant l'année scolaire bon nombre d'apprenants n'ont pas tenu un programme d'évaluation pendant toute l'année scolaire et d'autres ont fait qu'un seul trimestre. Dans l'enceinte des établissements scolaires nous avons compris à travers les réponses que le dispositif sanitaire mis en place était insuffisant pour garantir un environnement sain où les apprenants sont protégés contre les contaminations.

V. RECOMMANDATIONS

Dans le cadre de ce travail, nous avons voulu entendre les acteurs de l'éducation sur leurs expériences en cette période de crise sanitaire à corona virus. Après avoir recueilli des réponses des acteurs venant de 11 académies d'enseignement au Mali sur la problématique de l'impact de la covid19 sur la formation et le rendement des apprenants de l'enseignement secondaire, professionnel et technique de l'année scolaire 2019-2020. Ainsi, nous avons formulé les recommandations suivantes aux acteurs de l'éducation nationale malienne en cette période de covid19 à savoir:

- La création par le Ministère de l'éducation nationale d'un centre d'information décentralisée dans chaque académie sur le sujet de la pandémie, qui fait office d'agence de surveillance des consignes de l'Etat dans les écoles ;
- La Formation du personnel administratif et le corps professoral sur la pandémie pour leur permettre d'enseigner aux apprenants les bonnes pratiques face à la pandémie ;
- La mise à la disposition de tous les établissements d'enseignement du matériel non pharmaceutique pour la régularité de la propreté, des gels, et des bavettes ;
- La dotation des établissements de salles adaptées avec les technologies pour des cours pour faciliter le respect des mesures barrières en milieu scolaire ;

- La mobiliser d'une équipe sanitaire de prévention des infections dans chaque académie d'enseignement pour le contrôle des accès des établissements et assurer la prise en charge de cas suspect ;
- La programmation et réalisation d'activités de campagne de sensibilisation dans les établissements pour informer les apprenants sur les avantages du respect des mesures barrières et les conséquences du non-respect de ceux-ci ;
- L'utiliser des outils des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTICs) dans l'enseignement au Mali et former les acteurs de l'éducation à son utilisation ;
- La création des opportunités afin de permettre à chaque enfant de suivre le programme scolaire même à la maison pour garantir une égalité au sein de l'école malienne

VI. CONCLUSION

Ce projet de recherche sur « L'impact et la gestion de la covid19 sur la formation et le rendement des apprenants de l'enseignement général secondaire, professionnel et technique en fin cycle: cas de l'école au Mali. » s'est effectué sur le territoire national via l'internet, mise en ligne lundi 3 mai au dimanche 9 mai » concernant tous les acteurs de l'éducation qui interviennent au niveau secondaire. Nous voulions par ce travail comprendre l'impact de la pandémie sur la formation des apprenants en recueillant des réponses axées sur leurs expériences personnelles.

Dans le cadre de ce travail nous avons cherché à comprendre, mesurer les impacts et puis proposer des pistes de solution aux responsables pour diminuer l'ampleur des impacts de la covid19 en milieu scolaire. Une crise sanitaire intervenue en plein année scolaire de 2019-2020 bouleversant le cours habituel du fonctionnement de l'école déjà handicapée par une multitude de crises dans un contexte général de crise sécuritaire que traverse le pays depuis dix ans. Au sein des établissements nous nous sommes rendus compte que la méthode de gestion de la pandémie est inefficace pour permettre aux acteurs de l'école de se protéger convenablement avec du matériel de lavage des mains, le port des bavettes et le gel hydro alcoolique. Sans surprise, la désorganisation était au rendez-vous partout et particulièrement dans la tenue du programme scolaire des écoles pour permettre aux apprenants d'être sur la même longueur d'onde en terme d'information. Peu de répondants ainsi affirment avoir bénéficié de l'accompagnement du ministère de l'éducation national pour le combat contre la covid19. De ce fait à travers notre travail nous comprenons que les établissements ont dû se débrouiller pour former leurs apprenants sans l'aide réelle de l'Etat. Cela a impacté négativement le niveau des apprenants lors des examens de fin d'année 2019-2020, à travers les réponses certains confirment n'avoir pas tenu un seul programme d'évaluation pendant toute l'année scolaire. Certains auront reçu

un accompagnement du ministère de l'éducation notamment la formation sur la pandémie en générale. Des établissements publics toujours fermés pour cause de grève et de pléthore dans les classes à moins de bénéficier des aides dans le cadre de la lutte contre la pandémie. En définitif, la gestion de la crise reste un défi pour les autorités car bon nombre d'établissements publics et privés, manque de moyen pour assurer la diffusion de cours en cette période de pandémie et dans les parties où des efforts ont été consentis la surveillance fait défaut. Nul besoin de susciter des tensions ou d'inciter à la révolte mais il est primordial pour les universitaires de mettre en place des stratégies afin de mieux édifier les populations sur les formations et informations scientifiques sur ce que vit l'école au Mali surtout en cette période de crise sanitaire paralysante, qui impacte très négativement la formation des apprenants et leur avenir. Les responsabilités restent partagées et le devoir est de tout mettre en œuvre pour mettre l'apprenant au centre et améliorer les expériences d'apprentissage afin d'assurer la relève pour l'avenir du pays.

REFERENCES

- Baynast Lendrevie Lévy, 12^e édition. Mercator.
- BBC, 2020. <https://www.bbc.com/afrique/region-48096980> le 11 mars 2021 à 12h09 https://fr.wikipedia.org/wiki/Crise_sanitaire. le 15 03 2021 14h29.
- Djénéba Traoré, Distance et savoir, 2007. Intégration des TIC dans l'éducation au Mali. Etat des lieux, enjeux et évaluation.
- Camille Sanrey, Arnaud Stanczak, Sébastien Goudeau, Céline Darnon. Confinement et école à la maison: l'illusion de la solution numérique. Psychologie & Éducation, AFPEN, 2020. fhal-02978531f
- E-learning Africa EdTeche Hub, septembre 2020. Impact de la pandémie de COVID-19 sur l'éducation en Afrique et incidence sur le recours aux technologies.
- Gouvernement du Mali, Juillet 2020. Réponse du secteur de l'éducation au covid-19 mali pour le financement accéléré de la riposte à la covid-19 du partenariat mondial pour l'éducation.
- https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScvrkfHHy5AZq0nuaaD_6SFBKKh_s79WsZ6800nK7Q6U0BRRQ/viewform?usp=pp_url 2021 14h29.
- Institut national de la statistique du Mali, Juin 2020. Rapport mensuel de l'enquête sur l'impact de coronavirus sur les conditions de vie des ménages au Mali.
- Kotler Keller Manceau, 15^e édition, 2020. Marketing Management.

Ministère de l'éducation nationale, juillet 2020. Plan de réponse à la covid-19 des ministères en charge de l'éducation.

Mafouen Talle, Achile et Kouakep Tchaptchié, Yannick (2020). L'enseignement en ligne au Cameroun en période de crise sanitaire à travers l'application WhatsApp.

Mohamed Kipsi, mémoire de fin de cycle, 2016-2017. Les difficultés d'enseignement/apprentissage du français au second cycle du fondamental: exemple de deux écoles du CAP de Kalaban-Coro ».

Nations Unies, août 2020. Note de synthèse: L'éducation en temps de COVID-19 et après AOÛT 2020, Ministère de l'éducation nationale.

Perrine LOOCK, Rapport sectoriel Éducation, août 2019. Évaluation du processus Nexus au Mali et appui technique à sa mise en œuvre.

The conversation, 2021.
<https://theconversation.com/l'experience-malienne-dans-la-gestion-de-la-pandemie-du-covid-19-138158> le 18 03 2021.

Au-delà des sciences et des technologies, un regard métaphysique sur le COVID ?

Alhadje Aly Garba KOUNTA
Centre d'Etudes Stratégiques
Ministère des Affaires Etrangères et de la Coopération Internationale
Email : garbahadialy@gmail.com

Résumé : Le Covid-19 est une maladie infectieuse causée par un nouveau coronavirus découvert dans la ville de Wuhan en Chine. En effet, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a été informée de plusieurs cas de pneumonies de cause inconnue dans cette région, le 31 décembre 2019.

Cette maladie a bouleversé toutes les habitudes contemporaines de la culture de droit de l'homme. Et les sciences, techniques et les politiques publiques modernes semblent être limitées face aux défis cliniques. Le recours aux sources ancestrales a ressuscité la spiritualité qui semble être délaissée au scientisme.

Mots-clés: Crise clinique, crise humanitaire, crise politique, crise démographique, faiblesse de l'homme, suprématie divine

Introduction générale

Les coronavirus font partie d'une famille de virus variés susceptibles d'être à l'origine d'un large éventail de maladies. Leur nom signifie « virus en couronne » et vient du fait qu'ils possèdent tous un aspect en forme de couronne lorsqu'ils sont observés au microscope.

Ces virus à ARN peuvent infecter aussi bien l'homme que l'animal et possèdent un taux de mutation élevé à l'instar de celui de la grippe ou du virus VIH. Les coronavirus sont aussi zoonotiques, c'est-à-dire qu'ils se transmettent de l'animal à l'homme. Des enquêtes détaillées ont révélé que le SARS-CoV se transmettait de la civette, un petit mammifère, à l'homme et le MERS-CoV du dromadaire à l'homme. On connaît plusieurs coronavirus qui circulent chez certains animaux, mais qui n'ont pas encore infecté l'homme.

Chez l'homme, les manifestations de l'infection vont du simple rhume à une infection pulmonaire sévère, responsable d'une détresse respiratoire aiguë. Les coronavirus ont été identifiés pour la première fois chez l'humain dans les années 1960. Depuis trois coronavirus ont entraîné des épidémies graves :

- le SRAS-CoV (pour syndrome respiratoire aigu sévère), responsable d'une épidémie mondiale entre novembre 2002 et juillet 2003,
- le MERS-CoV (pour *Middle East respiratory syndrome*), découvert pour la première fois en 2012 au Moyen-Orient.
- le SRAS-CoV-2, à l'origine responsable de la première pandémie liée à un coronavirus en 2020.

Le **Covid-19** est une maladie infectieuse causée par un nouveau coronavirus découvert dans la ville de Wuhan en Chine. En effet, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a été informée de plusieurs cas de

pneumonies de cause inconnue dans cette région, le 31 décembre 2019.

Le **temps d'incubation**, durée entre l'exposition au virus et la manifestation des premiers symptômes, est estimé entre 2 et 14 jours après un contact à risque. Pendant cette période le sujet peut être contagieux. En moyenne, la maladie se déclare entre le 3^e et 7^e jour.

Comme pour beaucoup de maladies infectieuses, les personnes âgées ou présentant des pathologies chroniques présentent un risque plus élevé de morbidité.

Comment se transmet le coronavirus ?

Les coronavirus se transmettent d'homme à homme lors de contacts rapprochés dans un espace confiné à moins d'un mètre et/ou pendant plus de 15 minutes.

Il existe deux modes de transmission :

- par voie aérienne : les postillons propagés lors d'une toux, d'un éternuement ou d'une discussion,
- par contact physique : comme une poignée de main ou un baiser. Ou par de biais de surfaces contaminées (poignées de porte, claviers, rampe d'escalier...).

Les symptômes du Covid-19 sont les signes courants d'infection : la fièvre, la toux, le nez qui coule, une fatigue intense, des douleurs musculaires inhabituelles, une sensation d'oppression ou d'essoufflement et des difficultés respiratoires. Dans les cas plus graves, l'infection peut provoquer une pneumonie, un syndrome respiratoire aigu sévère, une insuffisance rénale et même la mort.

La maladie reste bénigne dans 80 % des cas et les chercheurs estiment le taux global de mortalité du virus à environ 3,2 %. Certains patients présentent

également une forme asymptomatique du virus : ils sont porteurs du virus, mais ne présentent pas de symptômes⁵.

Face à cette épidémie, toutes les spécialités d'éruditions sont touchés, car comme on le dit : la santé avant tout !

Ce qui a fait dire au Professeur Pascal Boniface : « Assurément, le monde de demain - d'après - ne sera plus le même que celui d'avant ».

Avec cette pandémie, une chose est sûre : l'on est projeté ailleurs. Mais où ?

Le livre de Pascal Boniface, directeur de l'Institut de Recherches et d'Etudes Stratégiques (IRES) de Paris s'attelle à cette problématique.

La face au monde est en train de changer ; l'évolution en cours paraît conduire à un monde post-mondialisation.

Mais qui va en définir le cadre et les règles ?

"Y va-t-il eu un "moment Covid-19", un tournant majeur dans les relations internationales ?".

Surpris par la gravité de la pandémie, le Monde est resté sidéré sans baisser les bras. Personne n'avait prévu une telle pandémie. En un temps record, la vie quotidienne a été grandement modifiée avec le confinement puis un déconfinement brouillon et encore mal maîtrisé.

Quant à l'économie mondiale, elle accuse une forte récession générant le chômage, mettant à l'arrêt - total ou partiel - des secteurs d'activités. Des mises en garde et des signaux d'alertes ont été pourtant multipliés par le passé.

Il y a une dizaine d'années, un rapport de la CIA alerte par son titre : "Comment sera le monde de demain ", publié en 2009, Ce rapport fait état d'une possible épidémie basée sur des agents pathogènes similaires au Coronavirus –SARS.

Bill Gates, en mars 2015, avait également averti sur le péril sanitaire. Pour lui, l'épidémie d'Ebola, à partir de 2014 en Afrique subsaharienne, avait constitué une alerte. En France, les deux derniers Livres blancs (2008 et 2013) ainsi que la Revue stratégique de défense et de sécurité nationale (2017) signalaient le risque d'une pandémie s'apparentant à celle du Covid-19.

Est-ce la fin du modèle occidental ?

Il n'a pratiquement plus le monopole de la puissance. Et face à la pandémie, les Occidentaux se sont montrés démunis ; ils sont au même niveau que le reste du monde - la comparaison avec le tiers -monde a été faite... La mondialisation a déclassé une domination révolue - les pays membres du G7 ne représentent plus que 45% du PIB mondial, soit 20 points de moins par rapport à 2.000. Ce qui impose au monde occidental de la modestie.

Pour autant, la Chine a-t-elle gagné ?

Au début de l'année 2020, ce pays représentait 17% du PIB mondial. La chute de croissance de la Chine allait se répercuter sur la majorité des pays, y compris sur ses rivaux japonais et américain par suite notamment des interdépendances entre les économies. Le Covid-19 n'a pas remis en cause ni arrêté la poursuite de la marche en avant de Pékin. Avec la "diplomatie du masque", la Chine se distingue de manière activiste dans quelque quarante pays. La diplomatie sanitaire est un outil d'influence. Mais si cette instrumentalisation de l'aide, avec beaucoup de communication, se veut désintéressée ; elle dissimule mal cependant des appétits stratégiques. On a ainsi parlé d'une "route de la Soie de la santé".

Face à ce phénomène de redéploiement de Pékin, les réactions internationales ont été contrastées. En Europe, les critiques ne manquent pas. En Afrique, le discours "tiers-mondiste" de Pékin est souvent perçu comme un écran de fumée masquant des intérêts, comme celui d'ailleurs des Occidentaux à propos de la démocratie. En Amérique latine, la Chine, jadis absente, enregistre une montée en puissance en se classant dans le lot de tête en tant que partenaire commercial. Au Moyen-Orient, à la différence des pays occidentaux mais comme la Russie, la Chine a de bonnes relations avec l'ensemble des pays, de l'Iran à Israël en passant par l'Arabie saoudite, le Qatar ou l'Egypte – 40% de son pétrole vient de cette région. Là aussi, la "diplomatie du masque" a été mise en scène. De plus, les ambitions technologiques chinoises ont été réaffirmées par la 5 G. Celle-ci est au cœur de la bataille géopolitique entre Pékin et Washington pour le contrôle de la technologie mondiale.

Dans tout cela, la superpuissance américaine a été passablement erratique. Pour Donald Trump, dans cette crise du Covid-19, l'horizon va-t-il été sanitaire et diplomatique ?

Personne ne peut le croire : il n'a eu pour motivation que sa réélection le 3 novembre prochain. Il a longtemps nié ce virus, le qualifiant même de "gripette "; il a même recommandé de le traiter avec

⁵Coronavirus : définition, transmission et symptômes, LUMNI enseignants.

de l'eau de javel... Or ce risque pandémique a figuré depuis longtemps parmi les principales menaces définies par les services secrets américains. Il mettra en cause la Chine et il fermera les frontières avec ce pays le 31 janvier. Depuis, les Etats-Unis sont devenus le principal foyer de l'épidémie.

L'OMS n'est pas épargnée pour avoir été bienveillante sur la responsabilité de Pékin. Si bien que la crise du Covid-19 a accru la rivalité, à des niveaux inégalés, entre les deux pays. La mise en accusation de la Chine devient un argument électoral, Biden étant à ses yeux trop mou.

Qu'une telle irresponsabilité soit à la tête de la superpuissance est une marque de déchéance intellectuelle !

La relation sino-américaine illustre-t-elle le concept de "pièce de Thucydide", l'historien des guerres du Péloponnèse (465-400 av. J-C) ?

A cette époque, Sparte ne pouvant accepter la montée en puissance d'Athènes ni la perspective d'être dépassée, s'était lancée dans une guerre qu'elle a gagnée mais qui l'a affaiblie.

Que se passe-t-il quand la puissance numéro un voit surgir une puissance numéro deux qui s'apprête à lui ravir le leadership, régional ou Global ?

La rivalité Washington - Pékin est en train de structurer les relations internationales - c'est l'un des grands défis stratégiques des années à venir.

Face aux ambitions de la Chine, les craintes des Etats-Unis, la crise du Covid-19 n'a sans doute pas créé cette rivalité, mais elle sort certainement exacerbée. Sauf à noter que Xi Jinping s'inscrit dans une perspective à long terme, alors que Trump a l'œil sur l'élection présidentielle.

Dans les débats publics occidentaux, la Chine est souvent présentée - et de plus en plus - comme une menace pour leurs démocraties. L'altérité est radicale aux Etats-Unis et de plus en plus insistante en Europe, "Péril rouge ? Plutôt" péril jaune" en ce que la Chine est plus chinoise que communiste.

Pascal Boniface appelle à une sortie du manichéisme, une vision binaire du monde. S'en prenant à ceux, nombreux, qui veulent délivrer des leçons de morale " lorsqu'ils évoquent les questions stratégiques, il appelle à la prise en compte de "la complexité des réalités". Il corrige une certaine vision idéalisée des Occidentaux à propos de l'Occident, laquelle peut "nous décrédibiliser aux yeux des autres et diminuer fortement notre capacité d'analyse". Il recommande de reconnaître que les autres, aussi, ont des intérêts

nationaux et que l'Occident n'a plus les moyens des siens.

Est-ce pour autant la fin de la mondialisation ?

On annonçait, il n'y a pas si longtemps encore, la fin des frontières ; elles se redressent partout. Comment vont évaluer les grands flux internationaux de personnes et de biens ?

Et avec la crise du Covid-19, l'Etat-nation a été revitalisé. Il était jugé obsolète, inefficace et ringard par certains théoriciens de la mondialisation ; le voilà devenu le rempart et le refuge vers lequel se tournent désormais les citoyens.

Il reste que l'hypothèse d'un contrôle plus étroit des peuples n'est pas à écarter : tant s'en faut. La pandémie n'a-t-elle pas été un effet d'aubaine pour des régimes autoritaires mettant en avant alors des motifs sécuritaires? De quoi raviver le débat sécurité /liberté.

Le multilatéralisme est sous pression ; il est même en crise ; mais seul le multilatéralisme peut prévenir de nouvelles crises.

Les Etats-Unis de Trump incarnent le refus du multilatéralisme ; y prévaut de plus en plus une diplomatie unilatéraliste, s'attaquant aux institutions multilatérales (ONU, OMS, UNESCO et même OMC).

La crise du Covid-19, est "une crise du multilatéralisme et de la solidarité" pour Monsieur BONIFACE, qui est très interrogatif sur les conclusions à en tirer par suite, en grande partie, de la rivalité aiguisée entre les deux premières puissances mondiales. Des signaux d'alarme sont lancés sur le changement climatique, l'avenir de l'humanité. Demain, l'on ne pourra pas dire que "nous ne savions pas"⁶.

Le Dieu mort de Friedrich Nietzsche est ressuscité

Toutes les louanges sont à Allah et louanges à Lui dans toutes les situations. Louanges à Celui qui a fait que les croyants tirent profit de toutes les situations, toute chose les renvoie à Son sublime souvenir. Le Très Haut nous a enjoint le rappel car il profite aux croyants. Or la situation dans laquelle le COVID a conduit le monde consiste un rappel à plus d'un titre. Le premier rappel nous appelle à une reconnaissance accrue envers le Tout Miséricordieux. En tant que croyants, nous savons que toutes les facilités qui nous sont faites dans notre existence révèlent de la grâce d'Allah. Cette assistance d'Allah est tellement permanente qu'elle semble ne pas exister, or cette pandémie vient souligner cette assistance car on ne

⁶Pascal Boniface, GEOPOLITIQUE DU COVID -19
Pascal Boniface, directeur de l'Institut de Recherches et

d'Etudes Stratégiques (IRES) de Paris, auteur de
Géopolitique du Covid-19 PAR MUSTAPHA SEHIMI

plus se permettre de respirer à plein poumons librement, les masques sont devenus nos compagnons, quelle grâce que de respirer librement.

Qui aurait dit que se regrouper ne relevait pas de notre seul bon vouloir, avec cette pandémie, que de lieux de culte fermés, que de restaurants aux tables vides, que de marchés désertés, que familles séparées, que de projets reportés... la liste est bien longue. Tout ce qui nous semblait aller de soi nous paraît dans leur réalité qui est qu'il n'y a de facile que ce qu'Allah a rendu facile. Nous oublions souvent de louer Allah pour ces multiples facilités, louanges donc à Allah qui a fait dire par le Prophète Paix et Salut sur Lui que chaque jour le fils d'Adam doit faire une aumône pour chacun de ses articulations et que dire "louanges à Allah" constitue une aumône. Puisse Allah nous compter au nombre de ceux qui Le louent.⁷

Le deuxième rappel nous renvoie à la crainte d'Allah qui est l'essence de l'Islam. Que de précautions ne prenons-nous pas pour ne pas contracter le COVID ?

Toutes les dispositions sont prises pour que la pandémie ne se propage pas. En vérité, si nous prenions les mêmes précautions pour éviter les péchés, nous ferions certes un grand pas vers la piété. De même que COVID se propage par contagion, le péché, lorsqu'il est public, se propage de façon exponentielle. Raison pour laquelle, l'Islam condamne beaucoup plus le péché commis en public que celui fait en privé. Si les dispositions prises pour freiner le COVID étaient prises pour circonscrire les péchés nous approcherions de la meilleure des communautés telle que décrite dans le Coran. Si telle la crainte et les restrictions que nous impose une maladie qui n'est qu'une créature, quelle devrait être notre crainte de la colère du Créateur ?

La reconnaissance envers Allah et l'éloignement du péché mène à la piété, piété qui doit nécessairement accompagner une œuvre pour qu'elle soit acceptée. Puisse Allah nous accorder la piété. Le troisième enseignement est ce qu'Allah a affirmé, à savoir que nul ne connaît le nombre de Ses armées. Cette petite créature d'Allah, le COVID, a chamboulé toute notre existence, qu'en serait-il si Allah décidait de nous ébranler par d'autres créatures bien plus considérables ?

Cela devrait nous donner une idée de la sublime grandeur d'Allah, ce qui nous mène aussi à la crainte révérencielle d'Allah. Louanges à Allah qui nous a fait de nous la communauté du rappel, rappel que nous trouvons dans les écritures révélées mais que nous devons également retrouver dans les événements de tous les jours, or « Ceci n'est qu'un rappel pour l'univers, - pour celui d'entre vous qui veut suivre le droit chemin. - Mais vous ne pouvez

vouloir, que si Allah veut, [Lui], le Seigneur de l'univers » (Coran 81, 27-29).

Conclusion

Je ne ferais pas mieux que partager un message réussi sur la plateforme VIP-Africa qui nous exhorte ainsi : « Avec le nouveau virus Covid Delta il n'y a pas de toux, pas de fièvre. C'est beaucoup de douleurs articulaires, maux de tête, douleurs au cou et au haut du dos, faiblesse générale, perte d'appétit, et pneumonie, c'est Covid Delta ! Et bien sûr, plus virulent et avec un taux de mortalité plus élevé. Il faut moins de temps pour aller aux extrêmes. Parfois sans symptômes ! Soyons plus prudents !

Cette souche ne vit pas dans la région naso-pharyngée !! Maintenant, cela affecte directement les poumons, ce qui signifie que les «fenêtres», les périodes de temps sont plus courtes.

J'ai vu plusieurs patients sans fièvre, sans douleur, mais qui rapportent une légère pneumonie thoracique sur leurs radiographies.

Les tests d'écouvillonnage nasal sont très souvent négatifs pour le Covid-19 !, et il y a de plus en plus de faux négatifs de tests nasopharyngés. Cela signifie que le virus se propage et se propage directement aux poumons, provoquant une détresse respiratoire aiguë causée par une pneumonie virale.

Cela explique pourquoi il est devenu tranchant, plus virulent et mortel !

S'il vous plaît, soyons plus prudents, évitez les endroits bondés, gardez une distance de 1,5 m même dans les endroits ouverts, utilisez des doubles masques, un masque facial et l'avez-vous souvent les mains (et quand on tousse ou éternue) pour le moment, tout le monde est asymptomatique.

Cette "vague" est bien plus meurtrière que la première. Nous devons donc être très prudents et prendre toutes sortes de précautions

Soyez également un communicateur alerte pour vos amis et votre famille !

Par des gestes simples et praticables, nous pouvons éviter cette affreuse maladie.

En cas de fièvre et de signes d'infection respiratoire, il faut faire recours aux services d'urgences de la zone ;

Mais il est connu que prévenir vaut mieux que guérir.

⁷Cheick Yamar Faganda DIARRA

Ainsi pour prévenir la propagation de l'infection quelques gestes simples sont préconisés par les autorités sanitaires :

- se laver fréquemment les mains à l'eau et au savon ou avec une solution hydro alcoolique.
- se couvrir la bouche et le nez avec le pli du coude ou avec un mouchoir à un usage unique en cas de toux ou d'éternuement afin d'éviter la propagation des virus et autres agents pathogènes.
- si vous êtes malade, restez chez vous et portez un masque chirurgical jetable.

Bibliographie

Santé Mondiale : Epidémie, Société, Economie et Politique au Sahel. Regards Croisés sur la Covid-19", sous la Direction de Bakary Toumanion et Sergio Giani, Figuira Editions, Bamako. E-Mail : figuiraeditions@gmail.com; tél. : 00223.73349271

Santé mondiale : Mobilité épidémiologique, distanciation sociale et décisions politiques face à la Covid-19, de Bakary Toumanion

Covid-19 : Fermeture des frontières, couloirs humanitaires, immunité collective, distanciation physique ou riposte locale ?, de Sergio Giani

Santé mondiale face à la Covid-19. Réalités épidémiologiques, pratiques sociales et cohérence des décisions politiques, de Mariam Santara et Nadie Wilikpan Bikobwa

Afrique : les défis économiques post-Covid-19, de Souleymane Astou Diagne

Analyse de l'évolution de la pandémie de Covid-19 au Mali, d'Assétou Bouare et Moussa Samake

Savoirs et savoir-faire traditionnels africains en matière de santé : Contribution des ressources de la médecine et pharmacopée traditionnelles à la lutte contre la Covid-19, de Rokia Sanogo

Connaissances, attitudes et pratiques des tradipraticiens de santé du district de Bamako concernant la lutte contre la maladie à coronavirus, de Sergio Giani, Korotoumou Traore et Rokia Sanogo

Analyse socio-anthropologique de l'épidémie de la Covid-19 au Mali, d'Amadou Bablé Traoré

La résilience des systèmes de santé des pays ouest-africains dans la réponse à la pandémie de Covid-19, de Moussa Sanogo et Zakaria Gansane

Le Mali à l'épreuve de la crise de la Covid-19 : une analyse des conséquences économiques, d'Etienne Fakaba Sissoko et Khalid Dembélé

Stratégies d'adaptation et de résilience du monde professionnel face à la pandémie de Covid-19. Le cas du Mali, de Birama Bagayogo

Gestion africaine de l'épidémie de Covid-19. Observations et contribution de l'Institut Mandela, de Paul Kananura

Argumentum ad Covidum-19 : Une analyse pilote du discours médiatique malien

Djouroukoro Diallo
Center for the Study of Language and Society
Université de Berne, Suisse
Université des Lettres et des Sciences Humaines de Bamako, Mali
djouroukoro.diallo@wbkolleg.unibe.ch

Résumé : La crise multidimensionnelle résultant de la pandémie de la Covid-19 a occasionné d'importants débats. Ces débats portent notamment sur les origines de ladite maladie dont les impacts socio-politiques, économiques, sanitaires et même humanitaires ne semblent pas près de s'estomper sur le continent africain et plus particulièrement au Mali. Pire, ces débats ont fait émerger et font persister un doute sur l'existence réelle de cette maladie malgré des milliers de victimes, des mesures dites barrières et autres politiques de confinement mises en œuvre dans différents pays. Bien que peu exposé à ladite pandémie, le Mali n'est pas en reste des débats en cours, notamment dans les médias. La réalité scientifique semble s'opposer à une sorte de théorie du complot. Nous assistons à une *agonalité* discursive entre *le capital symbolique* du discours étatique représenté par les prises de positions institutionnelles et l'imposture discursive alimentée par la théorie du complot dans l'espace public et sur les réseaux sociaux. Dans ce contexte, il devient nécessaire de comprendre les arguments utilisés de part et d'autre, et visant à légitimer, dans les médias maliens, le discours *contra* ou *pro*-Covid-19. Dans le présent article, nous tentons d'analyser les différentes manifestations de ce phénomène dans le discours médiatique au Mali. Notre cadre de travail est celui d'une étude pilote. Le choix de cette approche offre la double opportunité de discuter les impacts de la Covid-19 au Mali et plus largement en Afrique à partir d'une réalité concrète et d'établir un lien avec les objectifs de l'agenda 2030 des Nations Unies.

Mots-clés : Covid-19, capital symbolique, théorie du complot, discours médiatique, Mali

1. Introduction

En causant le décès de 3 089 673 individus entre décembre 2019 et avril 2021⁸, le virus à couronne communément désigné « Covid-19⁹ » marquera à jamais l'histoire de l'humanité, davantage par la rapidité avec laquelle elle s'est répandue au niveau planétaire et par l'étendue et l'ampleur des domaines d'activités impactées au niveau global que par la statistique de sa létalité *stricto sensu*. Apparu dans la ville de Wuhan en Chine en décembre 2019, le virus pathogène de cette maladie aussitôt qualifiée d'exceptionnellement létale a provoqué une panique généralisée au sein des populations et des institutions sur tous les continents. Le virus s'est répandu de façon exponentielle comme une trainée de poudre dans le monde. La panique suscitée peut s'expliquer, d'une part, par les incertitudes voire l'ignorance, de la vraie nature de ce virus, mais aussi et surtout sur son mode de transmission et d'infection ; d'autre part, l'évolution fulgurante du nombre des victimes en un temps record et sur des espaces lointains est paradigmatique de la panique constatée.

Malgré plus de 4 513 248 de cas confirmés, l'Afrique dans son ensemble ne représentait, en avril 2021, qu'environ 3 % des personnes infectées par la Covid-19 dans le monde¹⁰. Des tentatives pour ralentir, voire arrêter l'évolution des contagions, préserver des vies humaines tout en protégeant les systèmes socio-économiques et sanitaires, les autorités politiques et celles de la santé publique ont très tôt pris de nombreuses dispositions. Sur le plan social et sanitaire, les mesures barrière renforcées et des stratégies de confinement général ont été introduites dans la quasi-totalité des pays, entraînant la fermeture des institutions et des établissements publics et privés.

Dans plusieurs pays réputés démocratiques comme les États-Unis, la France, l'Italie ou encore l'Espagne, des citoyens ont été privés de leurs droits civiques fondamentaux, notamment, la liberté de réunion ou de mouvement pendant plusieurs mois.

La plupart des pays d'Afrique se sont essayés à cet exercice avec des résultats mitigés que l'on s'est évertué à expliquer par le poids des traditions, la

⁸ Source : <https://coronavirus.jhu.edu/>, consulté le 03/05/2021.

⁹ Dans cette contribution, nous préférons utiliser l'appellation générique « la Covid-19 » en référence aux recommandations de l'Académie française : <https://www.academie-francaise.fr/le-covid-19-ou-la-covid-19>, consulté le 15/06/2021. Nous en tiendrons

rigueur dans l'ensemble du texte sauf dans les citations directes.

¹⁰ Source : <https://www.timesnownews.com/india/article/covid-19-in-india-recovery-down-to-91-22-percent-fatality-rate-at-1-28-percent-health-minister-harsh-varadhan/742980>, consulté le 03/05/2021.

culture de la solidarité et de proximité ainsi que la promiscuité de la vie, notamment, dans les zones urbaines. Mais, en Afrique comme ailleurs, l'application desdites mesures n'était pas sans conséquences. Elle a provoqué une crise multidimensionnelle englobant, en plus du déficit sanitaire, l'économie, l'éducation et bien d'autres domaines d'activités.

Sur le plan économique, lesdites mesures et politiques ont conduit au pire à l'arrêt et, au mieux, au ralentissement des activités, notamment du fait du manque de circulation des personnes et, dans une moindre mesure, celle des biens entre les pays et les continents. Le rapport 2020 du Programme des Nations unies pour le développement (PNUD) montre que la pandémie du Covid-19 a exercé un impact sans précédent sur l'indice du développement humain depuis l'introduction de cet instrument d'évaluation en 1990¹¹. En Afrique, elle a eu pour effet d'empirer la situation de la plupart des pays connus pour leurs difficultés économiques majeures. Au Mali, par exemple, le taux de croissance en 2020, aurait chuté de 80%, passant de 5% à 0.9%¹². Ce déficit des moyens de l'État a une répercussion directe sur le système de santé du pays ainsi limité dans ses prérogatives de couverture sanitaire.

La problématique du Coronavirus soulève des questions sur la réalisation de l'objectif 3 de l'Agenda 2030, à savoir « permettre à tous de vivre en bonne santé et promouvoir le bien-être de tous et à tout âge »¹³. Elle ouvre la discussion sur les perspectives de la réalisation de l'Agenda 2030 au Mali et plus largement en Afrique.

Le présent article s'attèle, d'une part, à donner un aperçu sur la situation des Objectifs du développement durable (ODD) sur le continent africain et, d'autre part, à analyser l'évolution de l'Agenda 2030 dans le contexte de la pandémie actuelle au Mali et en Afrique. Les observations de Gountiéni D. Lankoandé (2020) constituent une stimulante base pour discuter le paradoxe créé à la suite de la résilience du continent africain face à cette pandémie¹⁴. D'un point de vue théorique, cette étude s'inscrit dans la logique méthodologique de l'approche historique du discours (angl. Discourse-

Historical Approach, DHA) comme prônée par Wodak/Reisigl (2016). La DHA exige une prise en compte du contexte sociopolitique de la thématique traitée. Ce qui explique et justifie le lien entre la réalisation des objectifs de l'Agenda 2030 en Afrique et au Mali.

Nous partons de l'hypothèse que : le débat autour de la Covid-19 en Afrique et au Mali a construit un discours du complot contre le continent africain dans l'opinion populaire. Il importe de questionner les impacts possibles de la pandémie de la Covid-19 sur la réalisation des Objectifs du développement durable en Afrique et spécifiquement au Mali. Comment se manifeste l'*agonalité* discursive entre le capital symbolique des experts et le discours inspiré de la théorie du complot ? En interprétant le discours comme un lieu commun (lat. *locus communis*) dans le sens d'un « topos » (Diallo 2018, Reisigl 2012), quels sont les arguments contra ou pro-Covid-19 utilisés dans le discours des médias maliens ? Cette analyse qualitative nous paraît importante pour découvrir la relation entre le discours de la théorie du complot et le *capital symbolique* (Bourdieu 2008) des institutions et celui des experts. Visant à démontrer l'*agonalité* discursive (Felder 2011) entre les différences tendances identifiées, cette analyse se réalise à l'aide d'une étude pilote basée sur le premier numéro de l'émission « Vivre avec le Covid-19 » mise en ligne le 31 décembre 2020 sur Kunafoni.com.

2. L'Agenda 2030 dans le contexte de la pandémie de la Covid-19 en Afrique et au Mali

D'après le périodique français La Croix, « Dès la mi-mars, tous les pays de la bande sahélienne déclaraient l'état d'urgence sanitaire : les frontières, les aéroports, les marchés, les lieux de culte, les écoles et les universités ont alors fermé. Des mesures ont été prises dans toute l'Afrique, [...] à quelques exceptions près comme le Burundi. Même des villes mondes comme Lagos, au Nigeria, ont été confinées »¹⁵. Or, jusqu'en fin janvier 2020, aucun cas de Covid-19 n'était encore officiellement enregistré sur le continent africain et que, c'est le 11 mars 2020 que l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a exhorté tous les pays à prendre des mesures d'urgences exceptionnelles en reconnaissant la vague

¹¹ 2020 Human Development Perspectives Covid-19 and Human Development : Assessing the Crisis, Envisioning the Recovery, United Nations Development Programme, New York.

¹² Voir le rapport des Nations Unies : « Analyse rapide des impacts socio-économiques du COVID-19 au Mali », <https://mali.un.org/fr/50195-analyse-rapide-des-impacts-socio-economiques-du-covid-19-au-mali>, consulté le 03/05/2021.

¹³ For more detail on SDGs see: <https://sdgs.un.org/goals>, consulté le 17/04/2021.

¹⁴ Ici, je ne prétends nullement que l'Afrique a définitivement maîtrisé la pandémie de la Covid-19. La

discussion dans cette partie porte beaucoup plus sur le paradoxe entre les prévisions sur les conséquences en Afrique et la réalité sur le terrain. Jusqu'à présent, le continent semble mieux s'en sortir contrairement au discours des experts et leurs prévisions au début de la pandémie.

¹⁵ Source : <https://www.la-croix.com/Monde/Coronavirus-lAfrique-elle-echappe-pire-2020-06-11-1201098674>, publié le 11/06/2020, consulté le 05/05/2021.

déferlante de la Covid-19 comme étant un fléau mondial menaçant toute l'humanité et de ce fait comme une « pandémie ».

À la mi-mars 2020, plus de trente pays sur cinquante-cinq avaient déclaré des cas confirmés d'infection au Coronavirus sur leurs territoires. Plus d'un an plus tard, presque chaque pays d'Afrique a enregistré des cas plus ou moins nombreux d'infection. Ainsi, dans son rapport publié en février 2021 sous le titre « Riposte à la Covid-19 dans la région africaine de l'OMS février-juillet », l'Organisation mondiale de la santé souligne que « plus de 3 millions de cas de Covid-19 ont été notifiés dans la région africaine de l'OMS et 79 000 personnes ont malheureusement perdu la vie »¹⁶.

Le Mali, pour sa part, fait remonter le premier cas d'infection au Coronavirus officiellement détecté dans le pays, au 25 mars 2020. Un peu plus d'un an plus tard, à la date du 05 mai 2021, les autorités sanitaires maliennes notent 14 032 cas de Covid-19 diagnostiqués dont 8 685 guéris et 485 décès¹⁷.

2.1. Le « paradoxe » de la Covid-19 dans le contexte africain et malien

La plupart des nations ont rapidement adopté des stratégies de prévention et de lutte plus ou moins construites contre la Covid-19 suite à la proclamation de la pandémie. Parmi les prescriptions afférentes figuraient des mesures de distanciation physique des populations et de contrôle des frontières surtout les aéroports internationaux même si au premier trimestre de 2020, le continent africain était le moins affecté par ce fléau. Les autorités des pays d'Afrique ont fait preuve de réactivité pour contrer et prévenir l'hécatombe annoncée de la Covid-19 sur le continent. Mais, pour salubre qu'elle fût, cette promptitude s'expliquait aussi par une certaine panique, voire, la peur des effets dévastateurs probables de cette pandémie sur le continent dont les infrastructures sanitaires dans la majorité des pays connaissent de graves dysfonctionnements. En effet, comme l'observait Marlène Panara, à la suite de bien d'autres analystes, « ... la plupart des États africains ne peuvent [pas] se permettre une propagation du Covid-19. En cas d'épidémie, les systèmes de santé

seraient vite submergés. Et les conséquences sanitaires, dramatiques »¹⁸. Dans son article, Panara expliquait l'ampleur du défi du Coronavirus en Afrique, relevant plusieurs aspects explicatifs de la défaillance des systèmes sanitaires des États africains. L'auteure s'appuyait sur les données d'Afrobarometer publiées avant la présente pandémie. Ces données indiquaient qu'environ « 53 % des Africains ont déclaré avoir manqué de soins nécessaires au moins une fois au cours de l'année écoulée »¹⁹. Panara soulignait la nécessité d'améliorer cette situation pour faire face à la pandémie. Elle plaidait pour une intervention du secteur privé et des nouvelles technologies ainsi qu'une harmonisation des infrastructures et des ressources humaines et financières à court, moyen et long termes.

Une prospective comparatiste avec des expériences passées moins étendues à l'instar de celle de l'épidémie de maladie à virus Ebola qui avait sévi en Afrique de l'Ouest entre 2013 et 2016, permettait d'envisager un scénario apocalyptique pour l'Afrique à l'avènement du Coronavirus sur le continent. Ainsi, dès janvier 2020, le périodique français *Le Point* intitulait un de ses tirages : « Coronavirus : l'Afrique sur les charbons ardents »²⁰ ou encore « Coronavirus : les pays africains en alerte »²¹. Environ un trimestre plus tard, son confrère *La Croix* s'étonnait sous le titre interrogatif « Coronavirus : l'Afrique a-t-elle échappé au pire ? »²².

Tous ces articles de presse peu élogieux à l'égard du continent attestaient des doutes sur la capacité des Africains et de leurs États à pouvoir endiguer la pandémie du Coronavirus.

Cette sorte de campagne médiatique néfaste à l'égard de l'Afrique repose sans doute sur une réalité des politiques de santé peu visionnaires sur le continent. Mais son intervention au moment précis où une information datée de fin janvier 2020 sur le don de la fondation Bill & Melinda Gates faisait la une des médias à travers le monde sous le titre « Bill & Melinda Gates Foundation commits emergency \$10m to help Africa and China to fight Coronavirus »²³, n'était pas moins favorable à

¹⁶ Ibid.

¹⁷ Source : <https://covid19-ml.org/>, consulté le 05/05/2021.

¹⁸ Marlène Panara : « Santé : pourquoi le défi est si grand pour l'Afrique » publié le 25/04/2020 à 17h57 dans l'hebdomadaire français *Le Point*, https://www.lepoint.fr/afrique/sante-pourquoi-le-defi-est-si-grand-pour-l-afrique-25-04-2020-2372866_3826.php, consulté le 19/04/2021.

¹⁹ Ibid.

²⁰ *Le Point*, publié le 29/01/2020 à 18h06, https://www.lepoint.fr/afrique/coronavirus-l-afrique-sur-les-charbons-ardents-29-01-2020-2360391_3826.php, consulté le 19/04/2021.

²¹ *Le Point*, publié le 26/01/2020 à 14 :22 - Modifié le 26/01/2020 à 17h41, https://www.lepoint.fr/afrique/coronavirus-les-pays-africains-en-alerte-26-01-2020-2359694_3826.php, consulté le 19/04/2021.

²² *La Croix*, publié le 11/06/2020 à 06 :06, <https://www.la-croix.com/Monde/Coronavirus-l-Afrique-elle-echappe-pire-2020-06-11-1201098674>, consulté le 20/04/2021.

²³ *Business & Human Rights Resource Centre*: published on 27 January, 2020, <https://www.business-humanrights.org/en/latest-news/bill-melinda-gates-foundation-commits-emergency-10m-to-help-africa-and-china-to-fight-coronavirus/>, consulté le 19/04/2021.

réveiller le soupçon de théorie du complot à l'égard des Africains. Les responsables de cette fondation très impliquée dans les questions de santé sur le continent et ailleurs voulaient sans doute prendre le taureau par les cornes avant qu'il ne fût trop tard. Car, les pronostics sur les conséquences néfastes de la pandémie paraissaient bien pessimistes comme l'affirme Gountiéni D. Lankoandé (2020) pour qui, « Dans le cas ... de la... COVID-19, ... une partie non négligeable des prévisions faites annonçait des fins catastrophiques en Afrique » (Lankoandé 2020 : 15). En avril 2020, Lankoandé qualifiait déjà cette perception « d'alarmiste »²⁴ et critiquait ces prévisions pessimistes qui prédisaient régulièrement des scénarios catastrophiques pour l'Afrique. Dans son introduction, l'auteur dénonçait ce phénomène discursif en le décrivant comme la « thèse du catastrophisme » (ibid.).

Son analyse contrastive du contenu de quelques articles de presse parus tant en Occident qu'en Afrique révèle plusieurs termes associant le continent africain à une certaine idée de la catastrophe dans le contexte de la Covid-19. L'énonciation de ce « catastrophisme » s'enrobe des dénominations comme « désastre », « vent/tempête », « bombe », « explosion », « implosion » et « crainte ». Cette façon de dire l'Afrique semble non seulement péjorer le continent elle le confine et le condamne à disparaître, à ne pas être.

En analysant les prévisions des experts qui indiquaient « 450 000 cas prévus début mai 2020 » (Lankoandé 2020 : 17), Lankoandé souligne le « paradoxe de la COVID-19 en Afrique » (ibid.) car les prévisions des experts ne se sont pas réalisées dans le contexte de cette pandémie. Aussi note-t-il que : « ... Contrairement... aux prévisions 'alarmistes' en début de pandémie, l'Afrique semble tirer son épingle du jeu, narguant ainsi les experts des pays développés et leurs prévisions » (Lankoandé 2020 : 13).

Les médias se sont résolus à la vision, mieux, au revirement de leur discours sur l'Afrique, alignant des titres de type : « Face au covid, l'Afrique plus résiliente qu'on ne l'imaginait »²⁵, et s'étalant dans des tentatives de justification généralement peu

documentées sous des titres vendeurs de types « Coronavirus en Afrique : cinq raisons pour lesquelles le Covid-19 a été moins meurtrier qu'ailleurs »²⁶, ou encore « Avec son milliard deux cents millions d'habitants, l'Afrique fait preuve, pour le moment, d'une étonnante résilience. Pourquoi ? Comment ? Jusqu'à quand ? »²⁷.

Dans son rapport sur la riposte contre la Covid-19 publié en novembre 2020, l'OMS avance les raisons ayant contribué à cette résilience :

La plupart des pays africains n'ont pas tardé à prendre des mesures, et c'est en grande partie grâce à ces efforts visant à limiter les rassemblements et à renforcer les capacités en matière de santé publique que le nombre de cas et de décès recensés en Afrique est resté inférieur aux chiffres enregistrés dans d'autres parties du monde²⁸.

En dehors de ces mesures, on peut ajouter plusieurs facteurs ayant favorisé la résilience du continent face à ce fléau. Sans vouloir rajouter à la polémique et malgré les imperfections sur les données et le manque de tests dans les zones rurales, les facteurs suivants semblent avoir joué un rôle prépondérant : la jeunesse de la population africaine (dont 60 % ont moins de 25 ans), la faible densité et la mobilité de la population dans certaines régions, le contexte climatique, les barrières des traitements antérieurs aux antibiotiques et le retour d'expériences des épidémies.²⁹ En plus, l'Afrique bénéficie au moins d'une meilleure prédisposition psychologique et d'une expérience avérée sur le plan opérationnel dans la lutte contre les catastrophes humanitaires eu égard à son passé fait de sécheresses ou d'épidémies. De plus, la nature même du Coronavirus et sa capacité de nuisance nettement plus élevée chez les personnes du troisième âge que chez les jeunes, offrait un avantage certain à la population africaine en comparaison à d'autres endroits du monde dont l'Occident.

Par contre, toutes ces observations nécessitent d'être prises avec précaution, tant la prédiction de l'évolution d'une telle pandémie repose moins sur des convictions culturelles que sur des seules techniques de la prospective et de l'épidémiologie

²⁴ Gountiéni D. Lankoandé (2020) : « Thèse du catastrophisme du Covid-19 en Afrique : ressentiment des africains ou réalité ? », GRAAD Working Paper n°003, <https://graadburkina.org/category/workingpapers/>, consulté le 20/04/2021.

²⁵ Le Temps, publié le 03/11/2020 à 16 :45, <https://www.letemps.ch/sciences/face-covid-lafrique-plus-resiliente-quon-ne-limaginait>, consulté le 20/04/2021.

²⁶ BBC Afrique, publié le 08/10/2020, mise à jour le 12/10/2020, consulté le 20/04/2021.

²⁷ Le Point, publié le 07/05/2020 à 05h39, [https://www.lepoint.fr/afrique/covid-19-afrique-vous-](https://www.lepoint.fr/afrique/covid-19-afrique-vous-avez-dit-mystere-07-05-2020-2374533_3826.php)

[avez-dit-mystere-07-05-2020-2374533_3826.php](https://www.lepoint.fr/afrique/covid-19-afrique-vous-avez-dit-mystere-07-05-2020-2374533_3826.php), consulté le 19/04/2021.

²⁸ Riposte à la Covid-19 dans la région africaine de l'OMS février -juillet , 2020, publié le 01/11/2020, <https://www.afro.who.int/sites/default/files/2020-11/COVID%20-19%20Response%20Final%20-%20FR.pdf>.

²⁹ Le Temps, publié le 03/11/2020 à 16 :45, <https://www.letemps.ch/sciences/face-covid-lafrique-plus-resiliente-quon-ne-limaginait>, consulté le 20/04/2021.

comme science du vivant. Tous les aspects soulevés expliquant la résilience de l'Afrique sont, évidemment, loin de faire l'unanimité même parmi les chercheurs. Quant à l'argument relatif à la jeunesse de la population malienne et africaine, des données disponibles démontrent que la majorité des cas d'infection confirmés au Coronavirus au Mali sont des personnes âgées de 30 à 34 ans et que la moyenne d'âge des personnes infectées est de 41,2 ans³⁰. Donc, il faudrait attendre les conclusions d'études plus nombreuses sur la résilience du continent africain à la pandémie de la Covid-19 pour pouvoir avancer des arguments plausibles et scientifiquement vérifiables.

2.2. L'Agenda 2030 et la pandémie de la Covid-19 en Afrique et au Mali

Si la situation sanitaire de la pandémie actuelle reste relativement sous contrôle, les impacts sur le plan socio-économique représentent tout de même un défi majeur à relever pour un continent en difficulté dans plusieurs secteurs depuis les indépendances et dont le niveau de sous-développement semble chronique. La réalisation des Objectifs du développement durable (ODD) devrait dans ce contexte constituer une priorité absolue dans les politiques et programmes de lutte contre la pauvreté et le sous-développement. Et cela en dépit des efforts colossaux que la riposte à la Covid-19 nécessite sur le plan humain et financier. Comme dans l'intitulé de son rapport de mai 2020, le *Sustainable Development Goals Center for Africa* soutient que la « Covid-19 est un risque sans précédent pour les ODD en Afrique ». Les auteurs dudit rapport résument les impacts de la Covid-19 sur le continent comme suit :

La pandémie mondiale est une crise humanitaire et économique qui a de sérieux impacts immédiats, ainsi que des impacts potentiels à long terme, en particulier sur les objectifs sociaux et économiques. 60 millions d'africains supplémentaires pourraient basculer dans la pauvreté, et il est à craindre que le nombre de personnes confrontées à l'insécurité alimentaire ne passe au double. Environ 110 millions d'enfants et de jeunes africains ne sont pas scolarisés, des systèmes de soins de santé déjà fragiles sont mis à l'épreuve, et les femmes courent le risque d'être encore plus marginalisées. Une activité économique au ralenti ainsi que des mesures de verrouillage auront pour conséquences d'augmenter le chômage et l'endettement ; tandis que la baisse combinée des envois de fonds, de

l'aide au développement et des recettes intérieures soulève un problème supplémentaire pour le financement du développement et des ODD³¹.

Ainsi, la pandémie du Coronavirus occasionnerait des conséquences assez néfastes pour le continent à court, moyen et long termes. Elle aggraverait la pauvreté en provoquant une insécurité alimentaire plus accrue. Ces facteurs auraient une influence négative de taille sur le taux de scolarisation en augmentant le fossé des questions liées au genre. Le ralentissement des activités économiques suite aux impacts des mesures barrière et du confinement provoquerait un taux de chômage plus élevé et les charges financières causées par la riposte à la Covid-19 seraient une source inquiétante d'endettement pour les États africains qui ont d'ordinaire des difficultés budgétaires considérables. En plus, les conséquences de la pandémie obligerait les pays développés à diminuer le budget alloué à l'aide au développement dont l'Afrique est l'une des principales bénéficiaires. Dans ces conditions, la réalisation des objectifs de l'Agenda 2030 devient plus qu'hypothétique.

Pour sa part, l'« Analyse rapide des impacts socio-économiques [de la] COVID-19 au Mali » du PNUD décrit un scénario assez pessimiste à propos des impacts probables de la Covid-19 sur ce pays. Les auteurs de ce rapport s'appuient sur des données du Fonds monétaire international (FMI) 2020 pour affirmer que la croissance économique du Mali chuterait de 5% à 0,9%. Ils ajoutent qu'elle « ...tombera bien en dessous du taux de croissance moyen de la population nationale de 3%, ce qui poussera encore plus de Maliens dans la pauvreté. Cette chute de la croissance va augmenter le taux de pauvreté de 2,7%, ce qui correspond à presque 800 000 nouveaux pauvres »³².

D'après le même rapport, les conséquences directes et indirectes de la Covid-19 constituent un réel blocage pour le développement du capital humain et la réalisation de l'Agenda 2030 dans le pays. Ainsi, une augmentation des maladies transmissibles avec une réduction de l'espérance de vie et une diminution de la couverture sanitaire (ODD3) sont prévisibles. Des secteurs tels que l'éducation (ODD 4), la lutte contre la faim, l'extrême pauvreté et la sécurité alimentaire (ODD1, ODD2) ou la réduction des

³⁰ Source : <https://covid19-ml.org/>, consulté le 06/05/2021.

³¹ 2020 Africa SDG Index and Dashboards Summary Report, <https://sdgcafrica.org/a-propos-de-covid-19/>, consulté le 20/04/2021.

³² Voir le rapport des Nations Unies : « Analyse rapide des impacts socio-économiques du Covid-19 au Mali », <https://mali.un.org/fr/50195-analyse-rapide-des-impacts-socio-economiques-du-covid-19-au-mali>, p. 5, consulté le 03/05/2021.

inégalités (ODD 10) pourraient bien souffrir des impacts de la pandémie du Coronavirus au Mali³³.

Bien avant cette pandémie, les statistiques démontraient que les pays africains progressaient difficilement dans la réalisation des ODD. Le rapport « Africa 2030 Sustainable Development Goals Three-Year Reality Check »³⁴ expliquait cette situation, d'une part, par le retard accusé par ces pays en matière de développement, d'autre part, par les inégalités entre les différentes régions africaines, même si chacune d'elles connaît des faiblesses notoires dans la réalisation de l'Agenda 2030 dans plusieurs domaines. Ainsi peut-on lire que « While progress in some areas and countries is encouraging, overall, the region will need to redouble its efforts if it is to achieve the SDGs by 2030. To be successful, there is need for effective and coordinated partnerships to domesticate the SDGs »³⁵. Les pays africains devraient donc mettre au centre de leurs programmes de développement socio-économique et sanitaire l'objectif 17 des ODD préconisant les partenariats aux niveaux bilatéraux aussi bien que multilatéraux pour une coopération internationale plus accrue. La pandémie actuelle démontre à tous les niveaux la nécessité de ce partenariat.

3. Le capital symbolique et le droit « au doute » dans le contexte de la Covid-19 en Afrique et au Mali

Pendant un débat télévisé sur la chaîne LCI réalisé le 01/04/2020, **Jean-Paul Mira, médecin et chercheur français, a soulevé l'idée de tester des vaccins contre la Covid-19 en Afrique.** Dans cette parfaite illustration de la « thèse du catastrophisme » (Lankoandé 2020), les propos « dégradants » et « racistes » de Mira ont suscité beaucoup de réactions de la part d'organisations de la société civile. A la suite de la société civile, plusieurs personnalités africaines ont exprimé leur indignation contre les mots du chercheur français. Ainsi, pour Didier Drogba, l'ancien international ivoirien :

Il est inconcevable que nous ...continuions... à accepter ceci. L'Afrique n'est pas un laboratoire. Je dénonce vivement ces propos graves, racistes et méprisants ! Aidez-nous à sauver les vies en Afrique et stopper la propagation de ce virus

qui déstabilise le monde entier, au lieu de nous envisager comme cobayes. C'est aberrant ! Les dirigeants africains ont la responsabilité de protéger les populations de ces complots abominables³⁶.

Comme on peut le comprendre à la suite des mots de l'ancien footballeur, l'Afrique représenterait depuis longtemps un « laboratoire » dans lequel les populations africaines seraient des « cobayes ». Drogba invite les « dirigeants africains » à « protéger les populations » contre ces pratiques. Cette réaction démontre que le discours sur la pandémie du Coronavirus sur le continent africain est dominé par la méfiance et le doute. En plus, elle établit directement un lien avec « ces complots » que l'ancien international ivoirien qualifie d'« abominables ». En dehors de la polémique sur les propos de Monsieur Mira, la méfiance des populations vis-à-vis de la recherche surtout dans le contexte africain trouve ici un terreau fertile. Elle nourrit et pérennise la divergence entre le discours scientifique et la théorie du complot comme espace d'expression et d'interprétation des catastrophes et plus particulièrement celles des épidémies.

Cette méfiance des populations à l'égard de la recherche scientifique présente en Afrique repose sur plusieurs leviers. Les origines de ce scepticisme sont à rechercher dans le passé colonial, d'une part ; d'autre part, aucun pays sur le continent n'a pu jusqu'à présent réaliser la couverture universelle de l'éducation (ODD 4).³⁷ Le niveau de scolarisation très bas en Afrique entre donc en ligne de compte dans les motifs des doutes vis-à-vis des intentions de la science occidentale en Afrique. Cela engendre aussi un accès très limité à la majorité des populations aux réalités des sciences modernes. De plus, les grands projets de recherche sont rarement portés par des chercheurs africains. Ils sont encore rarement financés par des institutions du continent. Autant d'éléments d'explication relatifs à la perception par les Africains de l'Afrique comme un éventuel « laboratoire » scientifique dans lequel les Occidentaux utiliseraient les citoyens de ce continent comme des « cobayes ». Mais, cette méfiance, des populations vis-à-vis de la science, n'est pas attribuable qu'aux seuls Africains. Dans l'introduction de son ouvrage *La démocratie des*

³³ Ibid, p. 15, consulté le 03/05/2021.

³⁴ « Africa 2030 Sustainable Development Goals Three-Year Reality Check », June 2019. The Sustainable Development Goals Center for Africa, 2019, www.sdgafrica.org

³⁵ FORESIGHT AFRICA Top priorities for the continent 2020-2030, Africa Growth Initiative at Brookings, published on januaray 2020, <https://www.brookings.edu/multi-chapter-report/foresight-africa-top-priorities-for-the-continent-in-2020/>, consulté le 21/04/2021.

³⁶ Propos cités sur le compte Twitter de l'ancien footballeur ivoirien rapportés dans un article publié le 02/04/2020 23 :32 - mis à jour le 09/04 08 :00 sur le site Internet footmercato, <https://www.footmercato.net/a198470438448808392-coronavirus-apres-samuel-etoo-didier-drogba-monte-au-creneau-contre-deux-medecins>, consulté le 06/04/2021.

³⁷ Africa 2030 Sustainable Development Goals Three-Year Reality Check, June 2019 The Sustainable Development Goals Center for Africa, 2019, www.sdgafrica.org

incrédules, Bronner (2013)³⁸ explique ce phénomène dans le contexte français et occidental comme suit :

Une enquête sur les rapports que les Français entretiennent à la science ..., réalisée en 2011, produit des résultats contrastés, dont certains trahissent ce doute qui ronge les Français sur des questions majeures. Ainsi, à la question : « La science et la technologie produisent-elles plus de dommages que d'avantages ? », il s'en trouve 43 % pour répondre « oui ». On pourrait se réjouir que 56 % répondent « non » (et 1 % « Ne sait pas ») et que l'on observe exactement les mêmes proportions pour la question : « Grâce à la science et à la technologie, les générations du futur vivront-elles mieux que celles d'aujourd'hui ? (Bronner 2013 : 8)

Bronner trouve que cette perception est « l'expression d'une incroyable ingratitude » envers la science et la technologie car ceux qui sont « sceptiques » vis-à-vis de ces secteurs oublient ce que ces domaines ont apporté et continuent d'apporter à l'Humanité surtout dans le traitement « des épidémies de pestes, de choléra ou de typhus qui ont tué des millions de personnes » (ibid.) et bien d'autres cadres du développement socio-culturel et économique notamment les nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) etc. En outre, l'évolution de la science et la technologie à travers la répartition du travail intellectuel constitue le socle du développement socio-économique de toute société moderne et démocratique. Cette répartition est impérativement fondée sur la confiance mutuelle entre les membres de la société dans le but de faciliter son progrès : « Cela signifie qu'une société fondée sur le progrès de la connaissance devient, ..., une société de la croyance par délégation, et donc de la confiance... » (Bronner 2013 : 7).

En d'autres termes, cette délégation correspond à la manifestation du « capital symbolique » dans le sens de Bourdieu (2008). Le capital symbolique désigne la reconnaissance institutionnalisée ou sociale dont bénéficient les acteurs sociaux spécifiques dans le contexte d'un échange discursif (Bourdieu 2008 : 68). Il définit le rapport hiérarchique entre les acteurs

sociaux selon qu'ils soient symétriques ou asymétriques. Par contre, la notion d'*agonalité* se rapporte à l'opposition voire la compétition directe entre les protagonistes dans une situation de lutte ou de combat. Dans son analyse des échanges discursifs, Felder (2011 : 3) décrit les centres agonaux comme étant la compétition qui se manifeste dans le discours pour l'acceptation contestée des interprétations d'événements, des options d'action, des revendications de validité, des connaissances d'orientation et des valeurs.

Dans l'éditorial d'une série d'articles sur la théorie du complot publiés dans le Temps en été 2020, Marie-Amaëlle Touré décrit la théorie du complot de la façon suivante :

Des Templiers à l'assassinat de John Fitzgerald Kennedy, des attentats du 11-Septembre jusqu'à l'élite Illuminati qui dirigerait le monde, le complot se perpétue depuis la nuit des temps et vient apporter des réponses simples et cohérentes aux doutes, souvent anxigènes, qu'éprouvent ses partisans. Des doutes par ailleurs légitimes et nécessaires pour la démocratie³⁹.

Ainsi, la théorie du complot est un discours alimenté et véhiculé par des individus, des groupes d'individus ou des organisations quelconques s'opposant pour une raison ou une autre à la « vérité officielle » fondée sur le « capital symbolique » (Bourdieu 2008) dont jouissent les institutions et les experts habilités. Dans ce contexte, la médiatisation exponentielle et ciblée de certains événements dans l'ère des réseaux sociaux constitue depuis le début des années 2000 un facteur considérable favorisant la circulation rapide des informations de tout genre. L'auto-médiatisation issue de l'utilisation excessive desdits réseaux permet aux internautes, c'est-à-dire, aux citoyens utilisateurs d'Internet, de s'exprimer directement depuis la sphère privée par rapport aux événements intéressants la vie de la société tout en faisant part de leur opinion ou encore de leur « doute ». Comme le fait savoir Bronner (ibid.), « ...la... suspicion à l'égard de la science, croissante depuis une trentaine d'années ..., devient plus évidente encore lorsque sont abordés certains sujets, qui ont été très médiatisés et donnent donc l'impression à nos concitoyens qu'ils les connaissent ... » (Bronner

³⁸ Dans cette partie, la discussion est centrée sur les observations de Gérald Bronner (2013) : *La démocratie des crédules*, PUF : Paris. Les exemples de Bronner (ibid.) sont basés sur le contexte français et occidental, mais je trouve qu'ils sont assez pertinents dans le traitement de la thématique discutée dans cet article et peuvent servir de référence dans tout autre contexte similaire même celui africain surtout dans le monde globalisé.

³⁹ Le Temps, publié le 09/07/2020 à 20 :00, modifié le 10/07/2020 à 11 :41, <https://www.letemps.ch/opinions/complot-cet-oreiller-paresse-pensee>, consulté le 09/05/2021.

2013 : 8). Cette situation favorise la création d'un espace et d'un canal d'expression de la théorie du complot, ce qui n'est pas sans conséquence dans la production discursive surtout par rapport aux questions majeures et régaliennes comme les épidémies plus précisément la pandémie de la Covid-19 relevant des priorités absolues des États et de leurs institutions.

Ainsi, s'effectue un transfert discursif de la sphère privée vers la « place publique » (Bourdieu 2008) qui représente un « lieu commun » ou un « topos » (Diallo 2018, Reisigl 2012). En effet, cette mise en scène personnelle à travers une interférence directe dans le discours public par l'intermédiaire des réseaux sociaux reste quand même une usurpation discursive, parce qu'elle ne jouit pas de la légitimité requise pour un tel exercice. En provoquant une compétition entre la « vérité officielle » et celle de la « rue » à propos de la Covid-19, cette opposition crée les conditions de l'*agonalité* discursive entre ces deux entités pour le contrôle de la « place publique » et, par conséquent, celui de l'opinion populaire. En semant le « doute » et l'incertitude au sein de cette dernière, ladite compétition peut bien mettre à mal la confiance entre les acteurs sociaux et ainsi occasionner un blocage dans le fonctionnement de la société moderne et démocratique malgré la nécessité de la liberté d'expression, ce droit civique dont jouit chaque citoyen d'où « le droit au doute » (Bronner 2013 : 2). Cette situation est source de contestations et de désorientations d'une partie de la population dans la prévention contre le Coronavirus comme en font écho les médias maliens : « COVID-19 : Les Bamakois réticents aux nouvelles restrictions »⁴⁰, « Mali : Le gouvernement dénonce une fake news au sujet de la fermeture des écoles »⁴¹, « Santé au Mali : Les malades fuient les hôpitaux à cause du Coronavirus »⁴².

Si la liberté d'expression constitue un des fondements de la démocratie dans le but de susciter le débat pour l'expression des peuples et l'épanouissement de la société à travers l'alternance politique et le développement socio-culturel et économique, elle est pourtant remise en cause dans le contexte de la théorie du complot où elle ne répond plus aux exigences du débat public « autorisé » comme dans l'arène politique. Elle peut se transformer en une forme de « nihilisme mental » (Bronner 2013) réfutant sans aucune preuve tangible tout discours

contraire à la position de ses partisans. Selon Bronner (ibid.), cette mentalité est

...une illustration du sophisme dit *argumentum ad ignorantiam*, l'argument de l'ignorance. ...Les conditions même de notre démocratie contemporaine favorisent la diffusion de *cet argumentum ad ignorantiam* dans l'espace public et son corollaire : la possibilité, pour celui qui réclame le droit au doute, d'ensevelir tout discours concurrent au sien sous un tombeau d'arguments. (Bronner 2013 : 3)

Malgré l'existence d'une part de vérité apparente, ces arguments sont avant tout fallacieux et dénotent d'une certaine ignorance par rapport à l'épistémologie des événements concernés chez les acteurs qui les véhiculent. Ainsi, si la liberté d'expression requiert l'agonalité entre les acteurs sociaux pour la domination de l'opinion publique, elle ne définit pas pour autant les limites déontologiques imposables à tous les intervenants dans cet exercice. En un mot, elle ne protège pas la société contre le risque de l'*argumentum ad ignorantium* en favorisant la prise en otage de la « vérité officielle » par celle de « la rue » car ils peuvent devenir un nœud gordien pour la démocratie surtout pendant des crises exceptionnelles comme celle de la pandémie de la Covid-19. Pour Marie-Amaëlle Touré, « il faut lutter à tous les niveaux contre l'oreiller de paresse de la pensée que représentent les complots. D'abord en refusant de céder à leurs séduisantes facilités, mais sans les mépriser pour autant »⁴³. Même si ces arguments dominent le discours produit sur les réseaux sociaux, ils sont certainement présents aussi dans les médias traditionnels tels que les journaux sous des énoncés plus subtiles.

4. Le discours médiatique malien sur la Covid-19

Le discours est un instrument qui nous permet de décrire le monde. Il constitue le moyen d'expression orale, écrite, visuelle ou iconique de notre représentation concrète ou fictive du monde qui nous entoure. Il se caractérise par des mécanismes d'inclusion ou d'exclusion en déterminant les règles linguistiques dans la production langagière proprement dite. Il exprime aussi les paramètres extralinguistiques tels que les rapports sociaux et sémiotiques dans la communication selon les réalités socio-culturelles aussi bien que politiques dans

⁴⁰ Source : Mali Tribune, publié le 17/04/2021, <https://www.maliweb.net/sante/covid-19-les-bamakois-reticents-aux-nouvelles-restrictions-2925185.html>, consulté le 15/05/2021.

⁴¹ Source : L'Essor, publié le 12/04/2021, <https://www.lessormali.com/mali-le-gouvernement-denonce-une-fake-news-au-sujet-de-la-fermeture-des-ecoles>, consulté le 13/03/2021.

⁴² Source : Le Confident, publié le 15/04/2020, <https://www.maliweb.net/sante/sante-au-mali-les-malades-fuient-les-hopitaux-a-cause-du-coronavirus-2868236.html>, consulté le 13/05/2021.

⁴³ Le Temps, publié le 09/07/2020 à 20 :00, modifié le 10/07/2020 à 11 :41, <https://www.letemps.ch/opinions/complot-cet-oreiller-paresse-pensee>, consulté le 09/05/2021.

l'épistémologie discursive d'un contexte précis. Ainsi, cet instrument nous sert de véhicule pour la vulgarisation d'une certaine image du monde sous forme de croyance ou d'idéologie justifiant et légitimant nos agissements en tant que membres de la société, d'où la nécessité d'un canal de communication approprié à cette fin tel que les médias : « ...le discours... est aussi l'expression d'une pensée politique ...et... contribue à définir un espace dans lequel s'échangent des idées, germe et s'élabore une conscience communautaire » (Bourgeot 1990: 133). En revanche, les médias représentent une plateforme de communication régulée et régie par des lois sur laquelle est exprimée la perception sociale des événements culturels, économiques et socio-politiques. Dans une société moderne et démocratique, ils constituent le canal de communication *par excellence* des élites politico-économiques et intellectuelles ainsi que celui des groupements d'intérêts divers de la société civile pour appuyer, soutenir et/ou défendre une idéologie voire une vision spécifique.

4.1. Méthodologie de recherche

Cette analyse qualitative du discours médiatique malien sur le rapport entre la théorie du complot et le discours « autorisé » ou même officiel des institutions et des experts s'intéresse particulièrement aux arguments en faveur de l'existence de la protection des populations contre la Covid-19 opposés à ceux du nihilisme mental sur cette pandémie. Notre préalable est que le discours représente, forme et décrit la réalité sociale: « Diskurse werden auch durch die soziale Wirklichkeit hervorgehoben und geformt, umgekehrt wird die soziale Wirklichkeit aber ebenso durch Diskurse geschaffen und geprägt » (Dorostkar 2014: 51). Pour Dorostkar (ibid.), les discours sont soulignés et façonnés par la réalité sociale, mais inversement, la réalité sociale est également créée et façonnée par les discours. En effet, il est nécessaire de préciser que cette analyse s'inscrit méthodologiquement dans la tradition de l'approche historique du discours (angl. Discourse-Historical Approach, DHA) comme prônée par Wodak/Reisigl (2016), Wodak/Meyer (2016), Dorostkar (2014), Reisigl (2014, 2012, 2011, 2009, 2003), Wodak/de Cillia (2006) et Reisigl/Wodak (2001) :

The DHA considers intertextual and interdiscursive relationships between utterances, texts, genres and discourses, as well as extra-linguistic social/sociological variables, the history of an organization or institution, and situational frames. While focusing on all these relationships, we explore how discourses, genres and texts change in relation to sociopolitical change. (Wodak/Reisigl 2016 : 90)

Traditionnellement, l'analyse du discours linguistique selon la DHA se réfère aux catégories suivantes : la dénomination, la prédication, l'argumentation, la perspectivisation et l'amplification ou l'atténuation (Reisigl/Wodak 2001). Néanmoins, la présente étude se concentre essentiellement sur l'analyse des stratégies d'argumentation utilisées dans le discours médiatique malien sur la Covid-19. Ce choix n'exclut pas forcément la prise en compte des autres catégories selon les exigences de l'évaluation proprement dite. Cela implique nécessairement la prise en compte de l'intertextualité et de l'interdiscursivité dans l'étude pilote. Vu le rôle prépondérant du texte dans cette analyse qualitative, nous le comprenons comme un instrument de communication oral, écrit ou visuel dont l'objet principal est d'adresser un message spécifique à un destinataire, lecteur ou (télé)spectateur qui est soit un individu, un groupe de personnes ou tout un public cible dans un contexte socio-culturel, économique et politique donné sur une thématique précise.

Selon Lüger (2005 : 5), les textes sont, en règle générale, des expressions plus ou moins complexes qui servent à atteindre un objectif communicatif ; ils fonctionnent comme des instruments actifs à l'aide desquels on veut modifier un état ou une situation donnée. Ces instruments sont utilisés dans le but d'encourager certaines activités ou pour influencer des présumés de type cognitif, émotionnel ou évaluatif supposés présents chez le destinataire. Cela dénote de la nécessité de l'existence de différents genres de textes adaptés aux types de message et de public. Mais, la taxonomie des textes journalistiques proposée par Lüger (1995) répond largement aux besoins de la présente analyse : textes informatifs mettant l'accent essentiellement sur l'information, textes d'opinion, textes d'invitation, textes instructifs, textes orientés vers le contact.

Les types de textes orientés vers l'expression de l'opinion visent à influencer les lecteurs. Ils se caractérisent par les commentaires et une prise de position impliquant la subjectivité de leurs auteurs comme dans l'éditorial, le reportage, le compte-rendu, le portrait, la critique, l'interview, etc. Par contre, les textes instructifs (consignes, notices, recettes) tentent d'influencer le comportement du destinataire ou public cible en lui intimant des instructions, conseils ou prescriptions, d'où l'appellation de textes prescriptifs. Bien que Burger/Luginbühl (2014 : 222) remettent en question les classifications des textes orientés vers le contact et des textes instructifs en tant que classes indépendantes, ils approuvent quand même l'importance de cette classification dans la distinction des types de textes dans les médias. Comme le soutiennent Facques/Sanders (2004), « le classement des genres journalistiques selon leur visée communicative implique de prendre en compte, au côté des textes dont le but est d'« informer » ou de «

commenter », ceux dont la visée est de distraire, conseiller ou vendre » (Facques/Sanders 2004: 87).

Le présent article inclut dans la constitution du corpus tous les genres de textes utilisés dans les médias maliens pour traiter directement la thématique de la Covid-19. Comme susmentionné, le discours est perçu dans cet article comme un « lieu commun » ou un « topos » (Diallo 2018, Reisigl 2012) dans le contexte de l'agonalité entre la « vérité officielle » et celle inspirée de la théorie du complot. Prenant référence sur Kienpointner (1992 : 194), Wodak/Reisigl (2016 : 102) soutiennent que les « topoi » peuvent être décrits dans la théorie argumentative comme des parties de l'argumentation qui appartiennent aux prémisses requises. Ils sont les garanties formelles liées au contenu ou aux « règles de conclusion » qui relient les énoncés à la conclusion, la revendication et justifient ainsi la transition des énoncés vers la conclusion. Les *topoi* ne sont pas toujours exprimés explicitement, mais ils peuvent intervenir sous forme de paraphrases conditionnelles ou causales telles que « si x, alors y » ou « y, parce que x ». Autrement, ils peuvent démontrer aussi des propriétés concluantes ou fallacieuses comme dans le cas de figure des sophismes⁴⁴.

En dehors du sophisme de *l'argumentum ad ignorantium*, les *topoi* peuvent exprimer des clichés ou des stéréotypes dans le discours de la théorie du complot. C'est dans ce contexte précis que nous situons la notion de discours dans un sens plus large selon la DHA (Wodak/Reisigl 2016) comme un ensemble de pratiques sémiotiques basées sur un contexte précis. Ces pratiques sont situées dans des champs d'action sociale bien définis. Ce qui lui confère une caractéristique socialement constituée aussi bien que constitutive. Ainsi, le discours est lié à un macro-sujet fondé sur l'actualité sociopolitique, mais il est aussi associé à l'argumentation sur les revendications de validité telles que la vérité et la validité normative impliquant plusieurs acteurs sociaux qui ont des points de vue divergents (Wodak/Reisigl 2016 : 89) d'où l'agonalité discutée dans cette étude.

Le discours recouvre diverses caractéristiques dont la généralité sur le plan macro-thématique, la pluralité des perspectives discursives, tout en démontrant une spécificité argumentative et interdiscursive comme expression de la réalité sociale, car le discours proprement dit ne se limite pas à la description d'un seul aspect de la réalité. Par conséquent, il ne peut être concis que pour des raisons propres à l'analyse d'une thématique précise, d'où la nécessité de son adaptation aux besoins méthodologiques nécessaires.

Cependant, pour cerner l'ensemble des contours discursifs liés à une thématique donnée, la DHA préconise le principe de la triangulation qui implique la prise en compte de toutes les données empiriques disponibles, des observations théoriques et méthodiques nécessaires, aussi bien que toute autre information ou matériel pouvant contribuer à expliquer, expliciter et élucider les contextes discursifs (Wodak/Reisigl 2016 : 89). Dans la même logique, il est nécessaire de reformuler et préciser les questions globales posées au début de l'étude dont les réponses seront directement recherchées dans le corpus. La présente analyse qualitative se concentre particulièrement sur les questions suivantes :

1. Quels sont les acteurs sociaux agissant dans le contexte de la pandémie de la Covid-19 au Mali ? Dans le sens que nous lui attribuons ici, la notion d'acteur ne se résume pas qu'aux personnes, elle inclut les institutions sociétales et politiques.
2. Comment sont-ils décrits dans le discours médiatique malien sur la Covid-19 ?
3. Comment la situation de la pandémie de la Covid-19 est-elle perçue au Mali et plus particulièrement dans les médias nationaux ?
4. Quels sont les arguments utilisés pour décrire la pandémie de la Covid-19 dans le discours médiatique malien ?
5. Existe-t-il une agonalité entre le discours officiel et celui des autres acteurs par rapport à la pandémie de la Covid-19 ?

La recherche de réponses à ces questions requiert aussi la prise en compte des aspects intertextuels et interdiscursifs dans le corpus d'analyse pour établir le lien entre les articles et couvrir autant que possible le discours existant sur la pandémie de la Covid-19 dans les médias maliens. Pendant que l'intertextualité se manifeste à travers le développement thématique dans le cadre d'une analyse superficielle du texte, l'interdiscursivité concerne l'analyse détaillée des arguments *contra* ou *pro*- Covid-19 dans l'ensemble de la vidéo.

Par ailleurs, il faudrait préciser que cette étude qualitative n'a nullement la prétention d'être représentative, mais elle aimerait discuter la perception de la présente thématique à travers la « représentance » selon la logique méthodologique (Busch 2007). La notion de « Repräsentanz » (all.) se laisse très difficilement traduire en français bien qu'elle fasse référence, dans le contexte présent, aux observations d'Albert Busch (2007) et celles de

⁴⁴ Pour plus de détail, voir Reisigl/Wodak (2001 : 69–80).

Thomas Niehr (2014). Concrètement, elle consiste en l'analyse des données empiriques ou articles typiques démontrant un lien ontologique direct avec l'ensemble du discours sur la thématique traitée. Ainsi, le corpus doit être constitué d'articles correspondant clairement aux critères des objectifs prédéfinis de l'analyse (Niehr 2014 : 35).

Dans la droite ligne de cet objectif, la présente étude pilote est basée essentiellement sur le premier numéro de l'émission « Vivre avec le Covid-19 » mise en ligne le 31 décembre 2020. L'émission porte sur la problématique posée par notre analyse. De ce fait, elle répond aux objectifs et critères qu'elle s'est fixée. Toutes les séquences de cette vidéo ont été transcrites en français et les interventions en langue nationale bambara ont été traduites et transcrites en français. Les lignes du document transcrit ont été systématiquement numérotées pour rendre les sources plus transparentes. En plus, d'autres articles ont été recensés sur les sites Internet www.maliweb.net et ww.malijet.com pour mieux démontrer les aspects intertextuels et interdiscursifs de la pandémie dans les médias maliens. En relayant quotidiennement les articles de la majorité des organes de presse du Mali, ces sites permettent un accès facile au matériel de recherche.

4.2. L'analyse pilote du discours médiatique malien

Cette analyse pilote se concentre principalement sur 2 niveaux : l'analyse superficielle et celle approfondie. L'analyse superficielle concerne les informations sur le matériel de recherche et le développement thématique ; l'analyse approfondie inclue la discussion des différents arguments *contra* ou *pro*-Covid-19 au Mali tels qu'exposés dans le premier numéro de l'émission « Vivre avec le Covid-19 ».

4.2.1. L'analyse superficielle de l'émission « Vivre avec le Covid-19 »

L'étude superficielle implique la prise en compte d'une analyse primaire qui concerne toutes les informations disponibles permettant une meilleure compréhension de l'épistémologie discursive du document en question et son contexte institutionnel. Ainsi, nous avons pris contact avec l'organe de presse et d'information Kunafoni.com pour en savoir plus sur l'émission « vivre avec le covid-19 » aussi bien que sur le contexte de sa production. Nous avons posé les questions suivantes à Aboubacar Camara, responsable administratif de Kunfoni.com que nous livrons ici *in extenso*⁴⁵ :

⁴⁵ Je précise que toutes les informations sur Kunafoni.com nous ont été données par Aboubacar Camara et qu'elles ont été rendues publiques dans cet article avec son accord pendant un appel téléphonique et par e-mail à la date du

1. Quand est-ce que Kunafoni.com a été créé ?

Kunafoni.com a été créé en mars 2014 comme journal d'informations générales en ligne⁴⁶.

2. Quel est son statut juridique au Mali ? A-t-il une coloration politique quelconque ?

La WebTV Kunafoni.com est une entreprise individuelle appartenant à feu Mme Togola Hawa Séméga décédée le 30 mai 2021 (paix à son âme). Contrairement à beaucoup de WebTV maliennes, Kunafoni.com, l'une des premières WebTV au Mali est apolitique, sa ligne éditoriale est donc indépendante.

3. Quelle a été son évolution depuis sa création jusqu'à nos jours (type de médias, presse écrite en ligne, TV) ?

Kunafoni.com est un journal d'informations générales en ligne (presse en ligne) depuis sa création le 19 Mars 2014. La WebTV a été officiellement lancée le 7 avril 2016 avec les émissions innovantes comme le Journal Rappé hebdomadaire et le débat rappé mensuel (Kunafoni Rappou) et Femmes Leaders. La WebTV a remporté le 2^{ème} prix francophone de l'innovation dans les médias, édition 2018.

4. Qu'est-ce qui la différencie des autres médias nationaux ?

La WebTV Kunafoni.com se différencie des autres WebTV maliennes notamment par son impartialité dans le traitement d'informations. Elle est une pure play car elle ne diffuse que ce qu'elle produit.

- Les sujets traités couvrent toutes les questions relatives aux femmes et jeunes d'Afrique et de la diaspora africaine dans le monde à savoir : l'immigration, l'accès à l'eau et à l'électricité, la liberté d'expression et la sécurité des journalistes, le mariage des enfants, l'éducation, la santé, l'islamisation de la politique, les TIC, la censure des réseaux sociaux, le changement climatique, le fact checking, la paix et la réconciliation, l'extrémisme violent entre autres.
- Les angles choisis et la tonalité : La tonalité est assez décalée avec le rap qui donne un côté ludique aux informations que nous diffusons tout en restant basées sur des faits réels et vérifiés. L'angle dépend du sujet traité, sachant qu'aucune censure n'est autorisée chez nous tant que le contenu de l'information est crédible et respecte l'éthique et la déontologie journalistique.

08/06/2021. Donc, la propriété intellectuelle des réponses lui revient entièrement.

⁴⁶ Créé le 19 mars 2014 sous le récépissé N°01-14/PR-CVI

- La présentation/le graphisme/l'enrichissement de l'information : Concernant la présentation, le JT rappé est présenté par deux animateurs en français et en bambara. Le Débat quant à lui, met en scène 6 intervenants au total dont un animateur traduisant chaque intervention en bambara, sachant que le débat se déroule en français. Pour le graphisme, nous utilisons un plateau virtuel. L'information est enrichie par nos recherches sur le terrain auprès de structures et institutions qui nous fournissent des informations et chiffres vérifiés et par conséquent, fiables.

5. Quand est-ce que vous avez lancé l'émission « Vivre avec le Covid-19 » ?

Le premier numéro de l'émission « Vivre avec le Covid-19 » a été mise en ligne le 31 décembre 2020 pour ainsi démarrer l'année 2021 dans la sensibilisation car la maladie du Coronavirus commençait à se répandre davantage au Mali.

<https://business.facebook.com/kunafoni/videos/195555128912056>

Produire de l'information vraie et originale est très difficile au Mali dans ce temps de crise de la pandémie avec l'expansion des fausses nouvelles concernant le Coronavirus. La pandémie qui est susceptible de durer encore longtemps au Mali avec le non-respect de plus en plus flagrant des mesures barrière comme dans les mosquées, marchés et lieux de culte toujours bondés, sans aucun respect de mesures de protection. Il est important de poursuivre les efforts de riposte de l'Etat à travers le ministère de la Santé et Kunafoni.com compte contribuer à cette lutte avec l'émission « Vivre avec le Covid-19 ».

La WebTV Kunafoni.com a donc créé cette émission, financée par son partenaire FreePress Unlimited pour :

1. Contribuer à l'information du public avec des reportages professionnels et essentiels pendant la pandémie sur la Covid-19, sachant qu'il y a plus que jamais un besoin pressant d'informer et sensibiliser les populations ;
2. Lutter contre la désinformation qui entoure la pandémie, basée sur les faits et sensible à la dimension genre pour ralentir la propagation du virus ;
3. Continuer à exister en tant que média malgré les nombreuses perturbations causées par la pandémie

tout en continuant à fournir des informations vitales qui lui sont liées.

L'émission cible surtout les jeunes de 18 à 35 ans et les femmes qui constituent l'audience principale de la WebTV.

6. Comment est-ce que vous organisez vos interviews ?

Le thème ou le sujet à traiter dans la semaine est discuté le lundi et adopté lors de la réunion de rédaction hebdomadaire. Les interviews sont alors confiées à certains reporters avec le contact des spécialistes si nécessaire.

7. Comment choisissez-vous les participants ?

Les interviews se font en général sous forme de micro-trottoir et les participants pris au hasard parlent de façon spontanée en donnant leur propre opinion. Nous nous débrouillons à avoir des avis opposés dans une émission pour que les différentes positions des citoyens soient prises en compte.

Sources/site Internet et/ou liens numériques

Site web : www.kunafoni.com

Twitter : [@ikunafoni](https://twitter.com/ikunafoni)

Facebook : www.facebook.com/kunafoni

YouTube : youtube.com/kunafoni.com

Ces éclairages nous permettent de comprendre l'orientation sociopolitique et culturelle du discours produit dans l'émission que nous analysons. Kunafoni⁴⁷.com est un organe de presse apolitique s'inscrivant dans le cadre du respect de la déontologie professionnelle malgré le contexte d'exercice assez complexe qu'est celui du Mali. L'analyse superficielle secondaire s'appuie sur le développement des thèmes discutés dans l'émission. Par ailleurs, nous précisons que cette analyse ne concerne que les aspects discursifs et ne prend pas en compte les particularités métalinguistiques ou les métadonnées de la vidéo de l'émission. Ainsi, nous avons relevé dans les 6 séquences de l'émission les thèmes interdiscursifs suivants :

- Thème 1 : situation de la Covid-19 dans le monde et au Mali (lignes 8-16)
- Thème 2 : perplexité/ doutes de nombreux maliens sur l'existence de la Covid-19 (lignes 16-18, 24, 41-44)
- Thème 3 : certitude sur l'existence de la Covid-19 (lignes 29-35)
- Thème 4 : manque de preuves sur l'existence de la Covid-19 (lignes 25, 42-44)

⁴⁷ Cette expression bambara signifie en français la nouvelle ou l'information.

- Thème 5 : preuves sur l'existence de la Covid-19 (lignes 30-31, 35-37)
- Thème 6 : association de la Covid-19 avec l'Europe (lignes 30, 35-36, 44-47)
- Thème 7 : doutes sur le mode de transmission de la Covid-19 / théorie du complot (lignes 47-50)
- Thème 8 : différence entre l'Afrique et l'Europe (lignes 50-53)
- Thème 9 : doutes sur l'origine de la Covid-19 (lignes 53-55)
- Thème 10 : introduction de l'expert (lignes 58-60)
- Thème 11 : sensibilisation autour de l'existence de la Covid-19 (lignes 63-65, 74-75, 84-85)
- Thème 12 : sensibilisation autour des mesures barrière (lignes 65-66, 75-76, 91-92)
- Thème 13 : l'infodémie (lignes 66-73, 79-81, 87-89)
- Thème 14 : information sur le mode transmission de la Covid-19 (lignes 85-87)

Après une brève introduction de l'émission, l'animatrice présente en gros plan la situation de la Covid-19 au Mali et dans le monde entier avec des chiffres sur les nombres de personnes testées, les cas positifs et les décès. Ensuite, elle soulève la problématique de l'existence ou de la non-existence de la maladie à Coronavirus pour de nombreux Maliens d'où une certaine perplexité face à cette situation dans laquelle le comportement des citoyens est influencé par leur perception. Ainsi, elle invite les téléspectateurs à suivre le micro-trottoir auquel ont participé 4 personnes⁴⁸ :

- Astan Koné, femme, âge : +/- 30 ans, langue : bambara, profession : vendeuse ambulante ;
- Michel Oclo, homme, âge : +/- 30 ans, langue : français, profession : on ne sait pas ;
- Arouna Diallo dit Makanaki, homme, âge : +/- 40 ans, langue : bambara, profession : commerçant ;
- Moriba Diakité, homme, âge : +/- 40 ans, langue : bambara, profession : enseignant.

Dans ces interviews, nous constatons que les participants montrent des perceptions différentes de la Covid-19 au Mali. Pendant que 2 personnes (Michel Oclo et Arouna Diallo dit Makanaki) croient en l'existence du Coronavirus, Astan Koné et Moriba Diakité émettent des doutes sur l'existence de la Covid-19 au Mali. Dans ce contexte, l'animatrice

pose les questions suivantes : « Y-a-t-il un problème de communication autour de cette maladie ? Y-a-t-il des facteurs poussant les citoyens-là à ne pas y croire ? » (lignes 58-59). Dans son intervention, Ousmane Ly, consultant en santé digitale, tente de donner des éléments de réponse à ces questions. En tant qu'expert, il sensibilise sur l'existence de la maladie à Coronavirus et invite en même temps les citoyens à respecter les mesures barrière pour se protéger et leurs proches. Mais, il met aussi l'accent sur le danger de l'« infodémie » qui est selon lui « la pullulation de fausses informations sur le virus » (ligne 81).

Après avoir démontré les différents positionnements par rapport à la problématique de la Covid-19 au Mali et donné l'opinion d'un expert, l'animatrice sensibilise les téléspectateurs sur l'existence réelle de la maladie et donne quelques informations sur son mode de transmission à travers des « porteurs sains » tout en invitant les citoyens à respecter les gestes barrière. Dans cette opposition entre les opinions des participants, chacun a justifié sa position sur la base d'arguments que nous allons discuter dans l'analyse détaillée suivante.

4.2.2. Analyse approfondie de l'émission « Vivre avec le Covid-19 »

Cette analyse approfondie consiste à démontrer le lien entre les énoncés dans la description de la maladie à Coronavirus dans le contexte malien sur la base de l'émission « Vivre avec le Covid-19 ». Grosso modo, son objectif est de dégager les arguments exprimés en faveur de l'existence de la Covid-19 ou ceux niant ou réfutant sous quelle que forme que ce soit l'existence de cette maladie. L'analyse concerne essentiellement les stratégies d'argumentation discursives utilisées par les différents participants de l'émission pour parler de la Covid-19. Comme mentionné, le discours est perçu dans cet article comme un « lieu commun » ou un « topos » (Diallo 2018, Reisigl 2012) dans le contexte de l'agonalité entre la « vérité officielle » et celle médiatique ou « populaire » inspirée de la théorie du complot. Les « topoï » sont des règles d'inférence qui établissent un lien entre un énoncé non controversé (l'argument) et un énoncé controversé (la « thèse » ou la « conclusion »). Ils peuvent être formulées ou paraphrasées sous forme de phrases conditionnelles ou causales du type « si x, alors y » ou « y, parce que x ». Ils contiennent aussi les caractéristiques des sophismes (Wodak/Reisigl 2016 : 102, Dorostkar 2014 : 81).

4.2.2.1. Les arguments *pro-Covid-19* :

⁴⁸ Vu que ces participants ont déjà été identifiés dans la vidéo, nous nous ne sommes pas à mesure de garantir leur anonymat ici.

Comme déjà mentionné (voir **4.2.1., question n°5, pages 15-16**), l'objectif de l'émission est d'informer et sensibiliser les citoyens en leur donnant des informations fiables et vérifiées sur la base de reportages sérieux et professionnels. Donc, la production de cette émission elle-même est un argument en faveur de l'existence de la Covid-19. Elle va du préalable que le Coronavirus existe et qu'il faut se protéger contre cette maladie en respectant les mesures barrière. C'est bien ce discours qui constitue le message adressé aux téléspectateurs. Ce discours est directement perceptible dans les arguments formulés dans les thèmes suivants :

- Thème 1 : situation de la Covid-19 dans le monde et au Mali (lignes 8-16)

L'animatrice donne un aperçu sur l'évolution du Coronavirus depuis son apparition en Chine en décembre 2019 jusqu'à la situation dans le monde et au Mali en décembre 2020. L'argument principal est que : « le Coronavirus existe et il faut se protéger contre cette maladie ». Les indications temporelles, topographiques appuyées par les chiffres précis sont des faits qui constituent la thèse de l'argumentation de l'animatrice. Ces indications servant de preuves concrètes obéissent au topos de l'autorité car l'argumentation donne des garanties vérifiables. Donc, nous acceptons en conclusion que la Covid-19 existe dans le monde et au Mali. Cette logique argumentaire et la conclusion à laquelle elle débouche sont défendues aussi par deux participants au micro-trottoir.

- Thème 3 : certitude sur l'existence de la Covid-19 (lignes 29-35)

Pendant le micro-trottoir, l'intervenant Michel Oclo soutient que le Coronavirus est une réalité car il tue des personnes en Europe tout comme au Mali. Puisque le Coronavirus fait des victimes, il existe (donc). La thèse ne peut être vérifiée que si les conditions de sa réalisation sont remplies comme dans le contexte de la pandémie. En conclusion, on peut admettre que le Coronavirus existe car nous en avons les preuves. Cette stratégie argumentative correspond à une présupposition donnant une information sur l'existence de ladite maladie.

- Thème 5 : preuves sur l'existence de la Covid-19 (lignes 30-31, 35-37)

Arouna Diallo dit Mankanaki croit à l'existence de la Covid-19 parce qu'il en a vu des cas et il connaît des victimes de cette maladie dans son entourage social. Il se positionne comme témoin oculaire en donnant des informations sur le lieu et le contexte dans lequel il a vécu des cas de Covid-19. Ainsi, s'il a vu et connu personnellement des personnes atteintes du Coronavirus, donc cette maladie existe. Dans ce cas, le témoignage fait foi de preuves et donc de topos de l'autorité accordant de la crédibilité aux propos de l'intervenant. En plus, cette autorité est confirmée par la réalité de la pandémie et les nombreuses victimes

qu'elles a causées dans le monde, en Afrique et même au Mali. Sur la base de ces arguments qui confirment la thèse, on peut conclure que le Coronavirus existe.

- Thème 11 : sensibilisation autour de l'existence de la Covid-19 (lignes 63-65, 74-75, 84-85)

Comme dans le cas de l'émission elle-même, la sensibilisation signifie au préalable l'existence de la maladie. Ce présupposé est un énoncé non controversé selon le type : « le Coronavirus existe, donc il faut sensibiliser les citoyens pour qu'ils se protègent ». Il justifie et légitime la sensibilisation.

- Thème 12 : sensibilisation autour des mesures barrière (lignes 65-66, 75-76, 91-92)

Faisant foi d'autorité en jouissant du capital symbolique lié à son statut professionnel et social, Ousmane Ly, docteur et consultant en santé digitale, invite les citoyens à respecter les mesures barrière. Par son intervention et son expertise, il donne une plus grande crédibilité à l'émission. Cette interview d'expert se situe dans la droite ligne de l'émission car Ly confirme, appuie et explicite l'argument principal qui est : « Le Coronavirus existe ». Par conséquent, son discours se construit autour de l'existence de la Covid-19 et de la reconnaissance de ce fléau comme une maladie létale qui provoque de nombreux décès à travers le monde.

- Thème 13 : l'infodémie (lignes 66-73, 79-81, 87-89)

Dans ses propos, Ousmane Ly sensibilise les citoyens contre les méfaits du phénomène appelé « infodémie » qui serait à l'origine de la désinformation relative à l'existence de la Covid-19 et, par conséquent, au non-respect des mesures de protection. La circulation incontrôlée de fausses informations ou non vérifiées à propos du Coronavirus, et connues sous la désignation de « *fake news* » sur les réseaux sociaux influencerait la perception de cette maladie. Au Mali, ce phénomène donne lieu à l'agonalité discursive examinée dans le présent article. Comme indiqué supra, ce phénomène porte des caractéristiques de la théorie du complot avec des informations semant le doute sur l'existence de la pandémie et remettant en question le discours officiel.

La sensibilisation constitue un des objectifs principaux de l'émission. Sa stratégie argumentative correspond au type : si les citoyens ne croient pas à l'existence du Coronavirus, c'est qu'ils sont mal informés. Et cette mauvaise information se révèle elle-même être pathologique et porte la désignation d'infodémie. Elle est le facteur de la désinformation décriée à propos de la Covid-19. Ce qui constitue une implication argumentative.

- Thème 14 : information sur le mode de transmission de la Covid-19 (lignes 85-87)

L'animatrice donne des précisions sur le mode de transmission du Coronavirus dont particulièrement les « porteurs sains, ils ont le virus mais ne présentent aucun symptôme et peuvent facilement transmettre le virus sans le savoir ». Cet argument est une implicature discursive insinuant que beaucoup de personnes pourraient être contaminées par la maladie à Coronavirus sans qu'elles ne s'en rendent compte. Cette stratégie correspond au type : s'il existe des porteurs sains, donc le Coronavirus pourrait se propager au Mali. Cette insinuation devient valable si on considère le contexte du non-respect des mesures barrière dans les lieux de culte, cérémonies sociales, marchés etc.

Dans l'analyse des stratégies d'argumentation en faveur de l'existence de la Covid-19, nous relevons un usage très régulier du topos de l'autorité pour expliciter, voire justifier les arguments prétendant que la maladie à Coronavirus existe. Ces arguments sont exprimés à travers des constructions conditionnelles ou causales sous forme d'implications et/ou d'implicatures et même de présuppositions. Par ailleurs, ces arguments sont confrontés à ceux d'autres intervenants dans l'émission.

4.2.2.2. Les arguments contre la Covid-19 :

Si la réalisation d'une émission de sensibilisation sur la pandémie du Coronavirus est une preuve concrète de la reconnaissance de l'existence de ce fléau, le simple fait de réfuter cette existence constitue aussi quelque part cette reconnaissance. Parce que nous allons du préalable que le discours est une reproduction de la réalité sociale. Mais ce fait ne signifie pas forcément que ceux qui ne veulent pas y croire sont prêts à se comporter autrement et à accepter les mesures nécessaires, voire imposées, pour se protéger contre la Covid-19. L'analyse des stratégies argumentatives de deux participants au micro-trottoir démontre une dichotomie discursive par rapport au Coronavirus :

- Thème 4 : manque de preuves sur l'existence de la Covid-19 (lignes 25, 42-44)

Dans son interview, la vendeuse ambulante Astan Koné affirme qu'elle ne croit pas à l'existence de la Covid-19 parce qu'elle n'aurait rencontré aucune personne victime de cette maladie même si elle reconnaît en avoir entendu parler. L'absence de preuve justifierait son refus de respecter les mesures

barrière. Ici, l'argument principal est le suivant : « Je ne crois pas au Coronavirus parce que je n'ai vu aucune personne atteinte de cette maladie ». Cette implicature correspond au type : si je ne vois pas de victimes de la maladie à Coronavirus, je n'y crois pas même si j'en ai entendu parler. Donc en conclusion, elle n'existe pas. Malgré le caractère subjectif de toute perception, cet argument n'est pas concluant même s'il contient une part de vérité qui accorde à la participante le droit au doute. L'absence de preuve dont la participante fait cas donne-t-elle une suite concluante à son argument ? Le fait de ne pas avoir vu de victimes de la Covid-19 ne peut nullement impliquer qu'elle n'existe pas. Cette stratégie démontre les traits d'un sophisme du type *argumentum ad ignorantium* (l'argument de l'ignorance). Il est envisageable que qu'Astan Koné n'ait jamais rencontré de personnes atteintes de Covid-19, mais ce seul fait n'est pas suffisant pour justifier le non-respect des mesures barrière, et pour réfuter l'existence de la maladie responsable de nombreux décès, sinon au Mali, du moins dans plusieurs pays d'Afrique et d'ailleurs. En conclusion, son argument est controversé et dans ce cas fallacieux.

- Thème 6 : association de la Covid-19 avec l'Europe (lignes 30, 35-36, 44-47)

Plusieurs intervenants dans l'émission ont fait le lien entre le continent européen et la Covid-19. Cette remarque mérite une attention particulière car le virus n'a pas été découvert en Europe. Elle pourrait s'expliquer par le fait que les premiers cas d'infection enregistrés au Mali étaient des citoyens maliens et français résidant en France qui sont retournés auprès de leurs familles au début de la pandémie. La très forte médiatisation de la situation dans les pays développés pourrait expliquer aussi cette perception. Mais dans son interview, l'enseignant Moriba Diakité affirme que la maladie à Coronavirus est un problème qui ne concerne que les « Blancs » qu'il ne faudrait pas imposer aux Maliens. Etant donné la réalité létale de cette maladie, un tel argument est tout simplement fallacieux et polarise tout en racialisant le fléau. Cette dimension correspond parfaitement à un aspect de la théorie du complot qui construit l'image d'un ennemi « blanc » dénommé en bambara « tubabu⁴⁹ » assimilant l'Europe avec la « race blanche ».

- Thème 7 : doutes sur le mode de transmission de la Covid-19 (lignes 47-50)

Poursuivant son argumentation, Moriba Diakité exprime des doutes sur le mode de transmission de la Covid-19 en affirmant que « si le Coronavirus se manifeste comme ils le disent, si cela est vrai, je ne

⁴⁹ Cette expression serait une déformation du mot arabe *tebib* ou *tbib* issue de l'argot utilisée par les soldats africains à partir du XIXe siècle dans l'armée française pour désigner le médecin-major, voir : [https://www.defense.gouv.fr/actualites/articles/rendez-](https://www.defense.gouv.fr/actualites/articles/rendez-vous-chez-le-toubib)

[vous-chez-le-toubib](https://www.defense.gouv.fr/actualites/articles/rendez-vous-chez-le-toubib), consulté le 14/06/2021. C'est ainsi que cette expression a été empruntée dans les langues ouest-africaines telles que le bambara, le wolof, le peul pour désigner les « Blancs » ou les Français.

serais pas là avec vous ici. Même hier, j'ai quitté Bougouni pour venir à Bamako dans un car de voyage bien rempli. Si c'était ce qu'ils disent, alors ce n'est pas vrai ». Cet argument ne repose que sur le refus de l'interlocuteur de croire en l'existence de la maladie à Coronavirus. Son scepticisme lui permet de réfuter tous les autres arguments pouvant le convaincre de la réalité sur la pandémie. Vraisemblablement, l'intéressé n'a pas compris le fonctionnement de la transmission du virus à couronne. Donc, nous sommes en présence d'un cas d'*argumentum ad ignorantium*.

- Thème 8 : différence entre l'Afrique et l'Europe (lignes 50-53)

Ensuite, Moriba Diakité entre dans une stratégie de banalisation de la Covid-19 en tissant des liens avec le paludisme ou le rhume, des maladies qui seraient très dangereuses pour « les Blancs » car ils ne pourraient pas les supporter. Ainsi, il procède à une comparaison hasardeuse entre ces maladies tropicales et le Coronavirus en faisant implicitement une comparaison entre la capacité de résistance des Africains et des Européens face aux dites maladies tropicales. Cette banalisation fait partie de l'avalanche d'arguments erronés, infondés et fallacieux qu'il construit pour justifier son refus de croire en l'existence de la Covid-19. Sa stratégie correspond indiscutablement à un argument de l'ignorance.

- Thème 9 : doutes sur l'origine de la Covid-19 (lignes 53-55)

De la banalisation, Diakité exprime des doutes sur l'origine de la maladie à Coronavirus chez des patients africains auxquels on aurait « injecté » une autre maladie différente de celle qui a été la cause de leurs visites médicales. Ainsi, il construit l'ensemble de son argumentation autour de la racialisation de la pandémie en mettant en doute le mode de transmission du Coronavirus. Ce doute est suivi d'une stratégie de banalisation en comparant la Covid-19 à des maladies tropicales qui seraient plus létales pour les « blancs » que les africains. Donc, si les africains sont victimes de la maladie à Coronavirus, c'est qu'on la leur aurait injectée. Fort de cette conviction, il refuse de croire en l'existence de la Covid-19.

L'analyse approfondie nous permet de relever la présence de plusieurs acteurs sociaux dont l'ensemble des participants à l'émission (l'animatrice, les personnes interviewées et l'expert), les réseaux sociaux agissant dans le contexte de l'infodémie et de la désinformation des citoyens, les citoyens eux-mêmes comme des « porteurs sains ». Les personnes victimes de la Covid-19 sont considérées aussi comme des actrices dans l'épistémologie discursive sur la pandémie. Nous notons aussi les toponymes « Europe » vs « Afrique » d'où la polarisation *pars pro toto* « nous » (les Maliens, les Africains) opposés aux

« Blancs » (eux, les autres). Cette généralisation synecdoque produit un effet racialisant dans la perception de la pandémie au Mali.

5. Conclusion

La pandémie du Coronavirus représente l'une des plus grandes crises multidimensionnelles que l'humanité ait connue depuis la Seconde Guerre mondiale. Son étendue et son ampleur lui valent son implication dans presque tous les secteurs de la vie sociale avec entre autres conséquences, un ralentissement, voire un blocage du développement socio-politique, économique et culturel. Son impact sur l'indice du développement humain et sur la réalisation des Objectifs du développement durable est particulièrement évident en Afrique. L'augmentation des maladies transmissibles et une réduction de l'espérance de vie consécutives à la diminution exacerbée de la couverture sanitaire (ODD3) au Mali sont entre autres corollaires prévisibles de la Covid-19. Des secteurs tels que l'éducation (ODD 4), la lutte contre la faim, l'extrême pauvreté et la sécurité alimentaire (ODD1, ODD2) et la réduction des inégalités (ODD 10) sont et seront fortement impactés par les conséquences directes et indirectes de la pandémie. Cette crise a toutefois l'avantage de révéler l'objectif 17 de l'agenda 2030 relatif à la promotion des partenariats bilatéraux et multilatéraux comme l'un des outils sur lesquels le Mali à l'instar d'autres pays du continent africain devrait plus que jamais s'appuyer pour pallier aux difficultés majeures suscitées par la pandémie.

Nous avons tenté dans cette contribution de discuter le rapport entre le pouvoir symbolique (Bourdieu 2008) et la théorie du complot dans le contexte de la Covid-19. Le premier numéro de l'émission « Vivre avec le Covid-19 » mise en ligne le 31 décembre 2020 sur Kunafoni.com nous a servi de base d'étude. Les contextes de l'agonalité dans l'épistémologie discursive dans les stratégies d'argumentation *contra* ou *pro-Covid-19* au Mali et en Afrique ont été discutées en interprétant le discours comme un « lieu commun » et s'appuyant sur la méthodologie de la DHA (Wodak/Reisigl 2016).

La production d'une émission sur la Covid-19 démontre de façon intrinsèque la reconnaissance de l'existence de la maladie à Coronavirus. Les intervenants (l'animatrice, deux participants et l'expert) fondent leurs discours sur des stratégies telles que l'analogie, l'opposition et le témoignage pour justifier l'existence de la Covid-19. Ainsi, une opposition autant qu'une analogie territoriale et déterritorialisée se dégagent distinctement ; d'une part, le Mali se trouve placé dans un contexte continental et global dans lequel la Covid-19 est une réalité, certes discutée par une minorité d'individus sur la place publique et dans les médias sociaux. D'où

l'hypothèse que : si le Coronavirus existe dans le monde et en Afrique, alors il existe aussi au Mali. Les faits et statistiques relatifs au nombre de personnes contaminées, des décès ou des malades guéris tendent à confirmer cette thèse, et donc, rendent l'argument principal plausible.

Par ailleurs, le contexte national refait surface. La présence de la maladie à Coronavirus au Mali oblige l'État à sa mission de sensibilisation des citoyens sur les dangers probables en vue, ensuite, d'une prise de conscience de son existence. L'accent est mis sur la nécessité de respecter les mesures barrière et sur la prise de conscience de l'existence de la Covid-19. Une prise de conscience, gage de la sauvegarde de la vie des populations et donc de l'État malien.

Toutefois, une dichotomie discursive comme matérialisation de l'agonalité entre la désinformation (infodémie) sur la base de la théorie du complot et du discours formel des institutions s'observe dans le contexte malien. Cette vision est perceptible dans le discours de 2 participants à l'émission. Ceux-ci s'expriment contre l'existence de la maladie. L'analyse de leurs discours montre que les arguments allégués se nourrissent essentiellement d'une non expérience de la maladie et d'une certaine ignorance ou tout au mieux d'une absence de connaissance profonde de la maladie en question.

De tout ce qui précède, il apparaît en conclusion un besoin impérieux d'approfondissement des observations de la présente étude pilote. Un cadre plus exhaustif incluant un corpus plus étendu d'articles de la presse malienne et africaine permettrait de couvrir autant que possible l'épistémologie discursive sur la thématique traitée, tant les discours sur la Covid-19 en Afrique et ailleurs, et l'*argumentum* proposé sont souvent porteurs de la vision que les uns et les autres se font d'eux-mêmes, de l'Afrique et de ses potentialités.

Références bibliographiques

- Bourgeot, André (1990) : « Identité touarègue : de l'aristocratie à la révolution ». In: *Études rurales*, N° 120, 1990. *Identité*, pp. 129-162.
- Burger, Harald & Luginbühl, Martin (2014): *Mediensprache. Eine Einführung in Sprache und Kommunikationsformen der Massenmedien*. Berlin: de Gruyter.
- Busch, Albert (2007): „Der Diskurs. Ein linguistischer Proteus und seine Erfassung. Methodologie und empirische Gütekriterien für die sprachwissenschaftliche Erfassung von Diskursen und ihrer lexikalischen Inventare“. In: Warnke, Ingo H. (Hg.): *Diskurslinguistik nach Foucault. Theorie und Gegenstände*. Berlin/New York: de Gruyter, S. 141-164.
- Dorostkar, Niku (2014): *(Mehr-)Sprachigkeit und Lingualismus. Die diskursive Konstruktion von Sprache im Kontext nationaler und supranationaler Sprachenpolitik am Beispiel Österreichs*. Wien : Vienna University Press, V& R.
- Felder, Ekkehard (2012): Pragma-semiotische Textarbeit und der hermeneutische Nutzen von Korpusanalysen für die linguistische edidiskursanalyse. In: Felder, Ekkehard / Müller, Marcus / Vogel, Friedemann (Hg.): *Korpuspragmatik. Thematische Korpora als Basis diskurslinguistischer Analysen*. Berlin/ New York: de Gruyter, S. 115-174 (*Linguistik – Impulse und Tendenzen* 44).
- Gountiéni D. Lankoandé (2020) : « Thèse du catastrophisme du COVID-19 en Afrique : ressentiment des africains ou réalité ? », GRAAD Working Paper n°003, <https://graadburkina.org/category/workingpapers/>, consulté le 20/04/2021.
- Kienpointner, Manfred (1992): *Alltagslogik: Struktur und Funktion von Argumentationsmustern*. Stuttgart / Bad Cannstatt: Frommann-Holzboog.
- Lüger, Heinz-Helmut (1995): *Pressesprache. 2.*, neu bearbeitete Auflage Tübingen : Niemeyer.
- Lüger, Heinz-Helmut (2005): „Optimierungsverfahren in Presstextsorten: Aspekte einer kontrastiven Analyse (deutsch-französisch). In: Lenk, Hartmut; Chesterman, Andrew (Hg.): *Presstextsorten im Vergleich-Contrasting Text Types in The Press*. Olms: Hildersheim, S. 1-30.
- Niehr, Thomas (2014): *Einführung in die Politolinguistik: Gegenstände und Methoden*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Reisigl, Martin (2003): *Wie man eine Nation herbeiredet. Ein diskursanalytischer Ansatz zum Studium nationsbezogener Fest- und Gedenkreden*. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Philosophie aus der Studienrichtung Sprachwissenschaft, eingereicht an der Geistes- und Kulturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien, Wien.
- Reisigl, Martin (2006): “Rhetorical Tropes in Political Discourse”. In: Brown, Keith (ed.): *The Encyclopedia of Language and Linguistics*. Volume 10, 2nd edition, Oxford: Elsevier. pp. 596-605.
- Reisigl, Martin (2008): „Stereotyp. Ein ambiges Konzept zwischen verfestigter Denkökonomie, sprachlichem Schematismus und gefährlicher Handlungsdetermination“. Teil 1. In: *Archiv für Begriffsgeschichte*. Band 50, Jahrgang 2008, S. 231-253.

Reisigl, Martin (2009): Stereotyp. „Ein ambiges Konzept zwischen verfestigter Denkökonomie, sprachlichem Schematismus und gefährlicher Handlungsdetermination“. Teil 2. In: *Archiv für Begriffsgeschichte*. Band 51, Jahrgang 2009, S. 105-125.

Reisigl, Martin (2011): “Pragmatics and (Critical) Discourse Analysis – Commonalities and Differences”. In: Hart Christopher (eds.): *Critical Discourse Studies in Context and Cognition*. Amsterdam: Benjamins, pp. 7-26.

Reisigl, Martin (2012): „Epistemologische Grundlagen der Kritischen Diskursanalyse und Funktionalen Pragmatik“. In: Januschek, Franz; Reisigl, Martin; Redder, Angelika (Hg.) (2012): *Osnabrücker Beiträge zur Sprachtheorie (OBST) 82: Kritische Diskursanalyse und Funktionale Pragmatik*. Duisburg: Universitätsverlag Rhein-Ruhr, S. 37-59.

Reisigl, Martin (2012): „Feindbild“. In: *Historisches Wörterbuch der Rhetorik* (HWRh). Band 10 (Ergänzungsband): A-Z. Unter Mitwirkung von zahlreichen Fachgelehrten herausgegeben von Gert Ueding. Berlin/Boston: de Gruyter. S. 291-304.

Reisigl, Martin; Wodak, Ruth (2001): *Discourse and discrimination. Rhetorics of racism and antisemitism*. London, New York: Routledge.

Wodak, Ruth; de Cillia, Rudolf; Reisigl, Martin; Liebhart, Karin; Hirsch, Angelika; Mitten, Richard; Unger, Johann Wolfgang (2009): *The Discursive Construction of National Identity*. Edinburgh: Edinburgh University Press. ISBN 0748637346.

Wodak, Ruth; Meyer, Michael (ed.) (2016): *Methods of Critical Discourse Studies*. 3rd Edition, Los Angeles/London/New Delhi/Singapore/Washington DC: SAGE.

Articles de journaux

BBC/Afrique, publié le 08/10/2020, mise à jour le 12/10/2020, consulté le 20/04/2021.

L’Essor, publié le 12/04/2021, <https://www.lessormali.com/mali-le-gouvernement-denonce-une-fake-news-au-sujet-de-la-fermeture-des-ecoles>, consulté le 13/03/2021.

La Croix, publié le 11/06/2020 à 06 :06, <https://www.la-croix.com/Monde/Coronavirus-lafrique-elle-echappe-pire-2020-06-11-1201098674>, consulté le 20/04/2021.

Le Confident, publié le 15/04/2020, <https://www.maliweb.net/sante/sante-au-mali-les-malades-fuient-les-hopitaux-a-cause-du-coronavirus-2868236.html>, consulté le 13/05/2021.

Le Point, publié le 07/05/2020 à 05h39, https://www.lepoint.fr/afrique/covid-19-afrique-vous-avez-dit-mystere-07-05-2020-2374533_3826.php, consulté le 19/04/2021.

Le Point, publié le 26/01/2020 à 14 :22 - Modifié le 26/01/2020 à 17h41, https://www.lepoint.fr/afrique/coronavirus-les-pays-africains-en-alerte-26-01-2020-2359694_3826.php, consulté le 19/04/2021.

Le Point, publié le 29/01/2020 à 18h06, https://www.lepoint.fr/afrique/coronavirus-l-afrique-sur-les-charbons-ardents-29-01-2020-2360391_3826.php, consulté le 19/04/2021.

Le Temps, publié le 03/11/2020 à 16 :45, <https://www.letemps.ch/sciences/face-covid-lafrique-plus-resiliente-quon-ne-limaginait>, consulté le 20/04/2021.

Le Temps, publié le 03/11/2020 à 16 :45, <https://www.letemps.ch/sciences/face-covid-lafrique-plus-resiliente-quon-ne-limaginait>, consulté le 20/04/2021.

Mali Tribune, publié le 17/04/2021, <https://www.maliweb.net/sante/covid-19-les-bamakois-reticents-aux-nouvelles-restrictions-2925185.html>, consulté le 15/05/2021.

Marlène Panara : « Santé : pourquoi le défi est si grand pour l’Afrique » publié le 25/04/2020 à 17h57 dans l’hebdomadaire français Le Point, https://www.lepoint.fr/afrique/sante-pourquoi-le-defi-est-si-grand-pour-l-afrique-25-04-2020-2372866_3826.php, consulté le 19/04/2021.

Documents et rapports

Riposte à la Covid-19 dans la région africaine de l’OMS février-juillet, 2020, publié le 01/11/2020, <https://www.afro.who.int/sites/default/files/2020-11/COVID%20-19%20Response%20Final%20-%20FR.pdf>.

Business & Human Rights Resource Centre, published on 27 January, 2020, <https://www.business-humanrights.org/en/latest-news/bill-melinda-gates-foundation-commits-emergency-10m-to-help-africa-and-china-to-fight-coronavirus/>, consulté le 19/04/2021.

2020 Africa SDG Index and Dashboards Summary Report, <https://sdgcafrica.org/a-propos-de-covid-19/>, consulté le 20/04/2021.

2020 Human Development Perspectives Covid-19 and Human Development: Assessing the Crisis, Envisioning the Recovery, Copyright @ 2020 By the

United Nations Development Program 1 UN Plaza,
New York, NY 10017 USA.

Africa 2030 Sustainable Development Goals Three-
Year Reality Check, June 2019, Copyright: The
Sustainable Development Goals Center for Africa,
2019, www.sdgafrica.org

Foresight Africa : Top priorities for the continent
2020-2030, Africa Growth Initiative at Brookings,
published on January 2020,
[https://www.brookings.edu/multi-chapter-
report/foresight-africa-top-priorities-for-the-
continent-in-2020/](https://www.brookings.edu/multi-chapter-report/foresight-africa-top-priorities-for-the-continent-in-2020/), Copyright 2021 The Brookings
Institution, consulté le 21/04/2021.

Strategic Response to Covid-19 in the WHO African
Region February-November, published on
February 2021,
[https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resource/
s/012_WHO-AFRO_Strategic-Response-to-
COVID-19_A4_P_V3.indd%20-%20FINAL.pdf](https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resource/s/012_WHO-AFRO_Strategic-Response-to-COVID-19_A4_P_V3.indd%20-%20FINAL.pdf)

The report of the United Nations : Analyse rapide des
impacts socio-économiques du Covid-19 au Mali,
[https://mali.un.org/fr/50195-analyse-rapide-des-
impacts-socio-economiques-du-covid-19-au-mali](https://mali.un.org/fr/50195-analyse-rapide-des-impacts-socio-economiques-du-covid-19-au-mali),
consulté le 18/04/2021.

Annexe : Transcription de l'émission « Vivre avec le Covid-19 »

1 **Émission télévisée : Vivre avec le Covid-19**

2 **Thème : Le Covid-19 existe-t-il ? Parole aux citoyens**

3 Date de production : le 31/12/2020

4 Durée totale de l'émission : 7 minutes

5 **Séquence 1 : L'intervention de l'animatrice**

6 **Gros plan avec les icônes coronavirus et un titre : « Vivre avec le Covid-19 »**

7 **Transcription :**

8 Salut à tous et bienvenue sur Kunafoni.com. « Vivre avec le Covid-19 », c'est votre nouvelle
9 émission hebdomadaire sur la pandémie de Coronavirus.

10 (L'animatrice commente la carte)

11 Pour rappel, ce virus a fait son apparition dans le monde en décembre 2019 plus précisément
12 en Chine et s'est dès lors répandu dans le reste du monde.

13 Le 25 mars 2020, le Mali connaît son tout premier cas. Selon les dernières statistiques, le
14 nombre de cas total s'élève à environ 80 millions dont 45 millions de guéris et malheureusement
15 plus d'un million de décès. (Gros plan sur les statistiques avec les chiffres précis et une vue
16 d'ensemble des chiffres sur le Mali). Bien vrai que certaines personnes y croient, des milliers
17 de maliens restent toujours perplexes sur la question de l'existence de ce virus. De la non-
18 croyance en la pandémie et non-respect des mesures barrière, chacun y va de son interprétation.
19 Notre reporter Boubacar Ackéy Traoré a tendu le micro à quelques citoyens.

20 **Séquence 2 : Micro-trottoir avec 4 participants**

21 1. **Astan|KONÉ**, femme, profession : vendeuse ambulante, âge : +/- 30 ans, langue : bambara

22

23 **Transcription :**

24 J'ai entendu qu'il y a une maladie actuellement du nom de Coronavirus, mais je n'y crois pas.
 25 Parce que je n'ai jamais vu une personne atteinte par cette maladie. C'est pourquoi, je ne lave
 26 pas mes mains avec du savon et je ne porte pas le cache-nez non plus.

27 2. **Michel OCLO**, homme, profession : néant, âge : +/- 30 ans, langue : français

28 **Transcription :**

29 Oui, effectivement, je crois en cette maladie. Nous ne devons pas négliger cette maladie parce
 30 que ça tue beaucoup de personnes non seulement chez les blancs, mais aussi ici plus
 31 précisément à Bamako au Mali, c'est une réalité.

32 3. **Arouna DIALLO dit Makanaki**, homme, profession : commerçant, âge : +/- 40 ans,
 33 langue : bambara

34 **Transcription :**

35 J'y crois parce que j'ai vu beaucoup de cas même quand j'étais en France à Paris avant mon
 36 retour, j'en ai vu des cas. Certains de mes proches ont été atteints par cette maladie, des
 37 personnes que je connais, je sais que c'est vrai. Le Coronavirus existe.

38 4. **Moriba DIAKITÉ**, homme, profession : enseignant, âge : +/- 40 ans, langue : bambara

39 **Transcription :**

40 Chez nous le Coronavirus, moi je n'y crois pas car c'est une manière de chambouler davantage
 41 le monde. Eh moi-même Moriba qui est ici avec vous, j'ai attrapé un rhume il y a quelques
 42 temps, si je m'étais rendu à l'hôpital, ils allaient me retenir là-bas en disant que je l'avais
 43 (Covid-19). Mais, je me suis soigné. Il ne faut pas que nous suivions forcément les problèmes
 44 des « toubabs » (blancs). Eh de nos jours, il y a plusieurs maladies. S'il y a des gens qui ne
 45 supportent pas certaines choses (maladies), il ne faudrait pas que vous bloquiez notre vie
 46 (quotidienne) pour cela. Dire que le Mali va être bloqué à cause de ça. Si le Coronavirus se
 47 manifeste comme ils le disent, si cela est vrai, je ne serais pas là avec vous ici. Même hier, j'ai
 48 quitté Bougouni pour venir à Bamako dans un car de voyage bien rempli. Si c'était ce qu'ils
 49 disent, alors ce n'est pas vrai. Même si c'est vrai, « sumaya » ce que nous appelons le paludisme
 50 tue les blancs, les blancs ne l'aiment pas (ne le supportent) pas. Le rhume tue les blancs, ils ne
 51 l'aiment pas. Mais, nous, nous naissons avec le rhume. Depuis la naissance, le bébé commence
 52 à éternuer à l'hôpital. Ensuite, dire que ce bébé une fois grand meurt de ce petit rhume. Peut-
 53 être qu'ils font (injectent/contaminent) aux gens (malades) autre chose différente de la maladie
 54 (Coronavirus).

55 **Séquence 3 : l'animatrice commente les interviews et introduit l'intervention de l'expert**56 **Transcription :**

57 Y-a-t-il un problème de communication autour de cette maladie ? Y-a-t-il des facteurs poussant
 58 les citoyens-là à ne pas y croire ? Docteur Ousmane Ly nous en dit plus sur l'infodémie autour
 59 de la question

60 **Séquence 4** : Dr Ousmane Ly, consultant en santé digitale

61 **Transcription** :

62 Aujourd'hui, le monde est confronté à une maladie grave qu'on appelle la Covid-19. Nous
 63 avons tendance à dire la Covid-19, mais c'est le Covid-19. Cette maladie est grave et sa réalité
 64 n'est plus à démontrer. C'est pourquoi, nous devons respecter les gestes barrière pour nous
 65 protéger nous-mêmes et protéger notre famille. Mais ce qui est encore le plus grave dans cette
 66 pandémie, c'est la multiplication des fausses informations, d'informations qui ne sont pas
 67 claires, d'informations qui mettent les gens en erreur (se racle la gorge). Et ça, on appelle ça
 68 l'infodémie. Nous devons lutter contre cette infodémie en amenant des informations prouvées.
 69 Nous devons arrêter de partager tout ce que nous recevons. Le monde est devenu bizarre car
 70 dès que nous voyons quelque chose surtout s'il y a une mauvaise nouvelle, on se met à partager.
 71 Quand nous voyons quelque chose qui est extraordinaire, on se met à partager. On ne va même
 72 pas gratter pour voir ce qu'il y a derrière. C'est ce qui fait que des gens qui n'ont pas de très
 73 bonnes intentions pour notre santé Le Coronavirus est une réalité et nous devons faire
 74 attention à ce virus. Nous devons respecter les mesures barrière. Nous devons respecter les
 75 mesures barrière pour nous-mêmes mais surtout pour ceux qui sont autour de nous. Même si
 76 l'épidémie n'a pas la même ampleur en Afrique que par ailleurs dans le monde, il faut
 77 reconnaître qu'il y a beaucoup d'africains qui en souffrent. Donc de ce fait, il est extrêmement
 78 important que les gens y croient. Ce qui fait qu'aujourd'hui nous avons un problème assez
 79 important, qui est même plus dangereux que le virus lui-même, c'est l'infodémie. C'est-à-dire
 80 la pullula... la pullulation de fausses informations sur le virus.

81 **Séquence 5** : L'animatrice commente

82 **Transcription** :

83 Il est vrai que cette pandémie a fait moins de ravage en Afrique que dans le reste du monde,
 84 mais cela ne signifie pas qu'elle n'est pas réelle. En effet, il y a ceux qu'on appelle des porteurs
 85 sains, ils ont le virus mais ne présentent aucun symptôme et peuvent facilement transmettre le
 86 virus sans le savoir. Ainsi, il faut avoir les bonnes informations pour pouvoir mieux se protéger.
 87 Pour cela, évitons de partager tout ce que nous voyons ou recevons sur les réseaux sociaux.
 88 Essayons d'avoir nos informations de sources sûres pour ne pas être dans l'erreur.

89 C'est tout pour ce premier numéro, merci de nous avoir suivi et je vous donne rendez-vous la
 90 semaine prochaine pour un autre numéro. D'ici là, protégez-vous et protégez vos proches,
 91 portez vos masques et ayez toujours sur vous vos gels hydroalcooliques. Merci et à la semaine
 92 prochaine.

93 (Fin de l'émission)

94 **Séquence 6** : Information sur le sponsor de l'émission

95 « Cette émission est réalisée avec l'appui financier de FREEPRESS Unlimited

96 Logo: FREEPRESS Unlimited

97 Logo: Covid-19 in Africa Together for RELIABLE information, European Union

98 Liste des personnes qui ont contribué à réaliser l'émission

99 Copyrightdécembre2020

100 Source : [https://kunafoni.com/index.php/2020/12/31/le-covid-19-existe-t-il-parole-aux-](https://kunafoni.com/index.php/2020/12/31/le-covid-19-existe-t-il-parole-aux-citoyens/)
 101 [citoyens/](https://kunafoni.com/index.php/2020/12/31/le-covid-19-existe-t-il-parole-aux-citoyens/), dernière consultation, le 02/06/2021.

PHYSIQUE ET SCIENCES APPLIQUEES

Analyse des débits d'eau dans le delta intérieur du Niger durant la période 1980-2017 au Mali

Mody SOW¹, Cheick DIARRA¹, Alima DIAWARA SOUMARÉ²

¹Faculté des Sciences et Techniques-Université des Sciences Techniques et des Technologies de Bamako

²INNOVIN-LLC, USA

Résumé : Cette étude est basée sur l'analyse des débits d'eaux de six stations hydrologiques dans le delta intérieur du Niger durant la période 1980-2017, qui sont Ké-Macina, Douna entrée du delta intérieur du Niger, Kara, Mopti, Akka et Diré la sortie du delta intérieur du Niger. Cette zone est située en zone sahélienne semi-aride. C'est une vaste zone inondable d'environ 40000 km² qui s'étire selon un axe sud-ouest et nord-est (de Ké-Macina à Tombouctou) sur plus de 350 km entre les parallèles 17° et 13° Nord et les méridiens 2°30 et 6°30 Ouest. La plus grande valeur du débit de crue annuel est observée au niveau de la station de Ké-Macina avec un débit de 1285,94m³/s et la plus petite valeur du débit de décrue est observée au niveau de la station de Douna avec 18,94m³/s. Sur l'ensemble des six stations d'études, les observations suivantes sont faites : la période 1982-1993 constitue la période sèche et la période 1994-2016 est la période humide. Du mois de janvier au mois de mai, on observe une décroissance du débit mensuel, au mois de mars avec une valeur de 1,21m³/s au niveau de la station de Kara. À partir du mois de juin, on a une croissance du débit mensuel pour atteindre le débit de crue pendant les mois de septembre pour les stations de Ké-Macina, Douna et Kara ; octobre pour la station de Mopti et novembre pour les stations d'Akka et Diré. Le débit de crue mensuel le plus élevé est observé au niveau de la station de Ké-Macina avec une valeur de 3090,82m³/s.

Mots clés. Débit d'eau, Delta intérieur, Niger.

Abstract: This study is based on the analysis of water flows from six hydrological stations in the Inner Niger Delta during the period 1980-2017, which are Ké-Macina, Douna entrance to the Inner Niger Delta, Kara, Mopti, Akka and Dire out of the Inner Niger Delta. This zone is located in the semi-arid Sahelian zone. It is a large floodable area of around 40.000 km² which stretches along a south-west and north-east axis (from Ké-Macina to Tombouctou) over more than 350 km between the parallels 17° and 13° North and the meridians 2°30 and 6°30 West. The highest value of the annual flood flow is observed at the Ké-Macina station with a flow of 1285.94m³ / s and the smallest value of the flood flow is observed at the Douna station with 18, 94m³ /s. On all six study stations, the following observations are made: the period 1982-1993 constitutes the dry period and the period 1994-2016 is the wet period. From January to May, there is a decrease in monthly flow, in March with a value of 1.21m³ /s at the Kara station. From the month of June, there is a growth in the monthly flow to reach the flood flow during the months of September for the stations of Ké-Macina, Douna and Kara; October for the Mopti station and November for the Akka and Diré stations. The highest monthly flood flow is observed at the Ké-Macina station with a value of 3090.82 m³ /s.

Keywords: Water flows, Interior delta end Niger.

1. Introduction

De nos jours la gestion des ressources en eau est un besoin qui s'exprime à tous les niveaux (local, national sous-régional et mondiale) du fait des conséquences souvent dramatiques d'une pénurie en eau sur le plan humain et économique. Cependant, l'on ne peut bien gérer une ressource que quand, elle est maîtrisée. L'analyse des débits d'eau est d'une très grande importance pour la gestion et la planification des ressources en eau. L'eau est l'élément fondamental de la vie. L'eau potable et l'assainissement sont indispensables à la vie et à la santé et essentiels à la dignité de tous [1]. La terre est la seule planète du système solaire à disposer, grâce à sa position privilégiée, de l'eau liquide à sa surface. La molécule H₂O est indispensable pour le développement de la vie. Habitat d'une partie de la faune et de la flore, source de production d'hydro-électricité, élément indispensable en agriculture,

élément vital d'alimentation, l'eau devient de plus en plus, avec l'accroissement de la population mondiale, une denrée convoitée. D'autant plus que l'eau douce, principal enjeu de convoitise, ne constitue que 3 % de la ressource en eau mondiale (le restant étant formé par les mers et les océans), dont les trois quarts sont stockés sous forme de glace [2]. L'eau douce représente toutefois moins de 1% des ressources de la planète, le reste étant réparti entre l'eau salée des océans (97,5%), l'eau des glaciers et calottes polaires (1,8%) et la vapeur d'eau dans l'atmosphère (0,001%) [3]. L'eau est donc une ressource abondante, renouvelable mais inégalement répartie à la surface de la terre. Le ruissellement semble augmenter dans les hautes latitudes et aux Etats-Unis, tandis qu'il baisse sur le pourtour du bassin méditerranéen et en Afrique de l'Ouest [4]. Le delta intérieur du fleuve Niger est une des plus grandes zones d'inondation du monde.

L'endroit se trouve à la frontière sud du Sahara, où les précipitations sont limitées ; les zones humides sont donc dépendantes de l'apport d'eau du fleuve. Le niveau d'eau dans le delta intérieur varie donc lui aussi entre 4,5 et 7 mètres suivant les années. La superficie inondée du delta varie alors suivant les années entre 10000 et 45000 km². Presque un million de personnes comme les pêcheurs, éleveurs et agriculteurs vivent au dépend du delta dont la superficie utilisable couvre 50000 km²[5]. L'écoulement de l'eau du fleuve à l'intérieur du delta est connu et sa durée varie entre 5 à 7 semaines selon que la crue est bonne ou faible [5]. Le bilan hydrologique dans le delta intérieur est établi par différence entre les débits entrant aux stations hydrologiques de Ké-Macina et Douna pour le Niger et Bani et les débits sortant à la station de Diré [6]. Le régime hydrologique est largement dépendant des ressources en eau provenant des régions beaucoup plus arrosées de l'amont et donc des régimes hydroclimatiques des bassins supérieurs du Niger et du Bani [6]. Les hauteurs annuelles précipitées ont connu de fortes diminutions. La dégradation de la situation climatologique qui remonte au début des années 1970 s'est traduite par des déficits pluviométriques pouvant atteindre 20 à 25% et des déficits de débit moyen annuel de 40 et 60% en période sèche [6].

2. Présentation de la Zone d'étude

La zone d'étude est située en Afrique de l'Ouest, au centre du Mali appelé le delta intérieur du Niger. L'étude porte sur la période 1980-2017 et concerne les débits à la rentrée, à la sortie du Delta et dans le Delta intérieur du Niger. À partir de Ségou pour le Niger et de Douna pour le Bani, le cours du Niger entre dans une immense plaine alluviale comblée par différents dépôts du quaternaire. Cette zone, connue sous les différents noms : delta central, cuvette lacustre, cuvette intérieure ou delta Intérieur du Niger [6]. Le delta intérieur du fleuve Niger au Mali est une vaste plaine d'épandage des eaux du Niger et du Bani, situé entre 13° et 17°N et 2° et 6,5°W, qui s'étend sur une superficie d'environ 50000 km²[8]. Il s'étire suivant un rectangle orienté Sud-ouest/ Nord-Est sur plus de 350 km entre Ké-Macina et Douna au sud et Diré et Tombouctou au nord [6].

Géographiquement, le delta correspond à l'extension maximale des eaux de crue et des lacs périphériques. Il est limité :

- à l'est et au sud, par les reliefs du plateau de Bandiagara,
- à l'ouest, par le "delta mort", zone de dépôts anciens au-dessus de l'actuel delta,
- et enfin, au nord, par une série de dunes orientées est-ouest [9].

Il se situe entre les cercles de Djenné, Mopti, Tenenkou, Youwarou et Diré et compte 44 communes et 821 villages pour une population de 1730223 habitants. L'inondation dépend de la pluviométrie des bassins supérieurs du Niger et du Bani, les pluies locales ne contribuant que pour 5 à 10% des débits [10]. Le delta intérieur du Niger montre quatre grands types morphologiques aux caractéristiques distinctes haut delta, delta moyen, bas delta et nord dunaire (ou erg de Niafouké). Plus simplement, on retiendra :

- une partie amont et centrale en aval de Ké-Macina et Douna avec constitution de deux branches majeures : Niger et Bani pour la Mésopotamie malienne autour de Djenné pour le haut delta, Niger et Diaka pour la plaine du Kotia dans le delta moyen. Elle s'étend jusqu'aux lacs centraux (lac Débo, lacs Wallado et Korientze) et est composée de vastes zones d'épandages encore largement inondées par la crue annuelle.

- une partie aval qui s'étend des sorties des lacs centraux, avec trois axes drainants principaux (Issa Ber, Barra Issa, Koli Koli) jusqu'à Diré, où une géomorphologie très différente, caractérisée par une surimposition aux formes deltaïques antérieures d'un erg holocène orienté est-ouest, conduit à observer un réseau hydrologique très diffus, souvent commandé par les sillons interdunaires, avec des zones d'inondations plus réduites, mais des lacs périphériques alimentés lors des fortes crues [7]. Le climat est influencé par l'harmattan (alizés), un air sec provenant de l'anticyclone d'Afrique du Nord et par la mousson (un air humide du sud). Le front intertropical (FIT) sépare ces deux masses d'air ; ses mouvements nord-sud déterminent la saison pluvieuse. On distingue une saison fraîche et sèche de novembre à mars, une saison chaude et sèche d'avril à juin, une saison pluvieuse de juillet à septembre et une seconde saison chaude après les pluies en octobre. La pluviométrie varie de 700 mm au sud à 300mm au nord du delta.

La pluviométrie moyenne maximale se situe en août. Le delta intérieur malien est un écosystème où régime hydrologique, dynamique de l'environnement naturel et activités humaines (pêche, agriculture, élevage) sont étroitement associés [6].

Le cycle hydrologique du delta intérieur du Niger s'étend de juillet à juin. Dans la partie centrale du delta, c'est en mai et en juin que se trouve le niveau d'eau à son plus bas stade : l'étiage. Entre juillet et octobre la crue monte pour atteindre son maximum en novembre-décembre. La décrue s'étend de janvier à avril [6]. Outre les précipitations directes et quelques écoulements sporadiques provenant du plateau de Bandiagara et des petits bassins versants riverains du fleuve, les apports au delta intérieur du

L'écart type (σ) correspond à la racine carrée de la somme des carrés des différences entre les valeurs mensuelles d'un paramètre observé et la moyenne de la station divisée par le nombre d'observation. Sa formule est :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 n_i}{\sum n_i}}$$

3.1.3. Variance

Le coefficient de variation (V%) est donné par :

$$V\% = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100$$

4. Résultats et discussion

Cette partie, résultats et discussions, comporte les variations interannuelles de l'indice de ruissellement normalisée (SPI) des six (6) stations hydrométriques qui sont Ké-Macina et Douna à la rentrée du delta et Diré à la sortie.

4.1. Coefficient de variation

Tableau 2: Coefficient de variation des stations d'étude.

Stations d'étude	Station de Ké-Macina	Station de Douna	Station de Diré
Coefficient de variation	23,06%	70,23%	19,74%
Stations d'étude	Station de Kara	Station d'Akka	Station de Mopti
Coefficient de variation	41,63%	32,36%	24,71%

La variation du débit la plus élevée est observé au niveau de la station de Douna et la variation la plus faible est observée au niveau de la station de Diré. Cela est visible sur les courbes de la figure 2. Pour les six stations étudiées, le coefficient de variation des stations étudiées est supérieur à 18%.

4.2. Variations interannuelles des débits

Les variations des débits enregistrées dans les six (6) stations hydrométriques est constituée des variations interannuelles durant la période de 1980 à 2017.

Les variations interannuelles des débits durant 1980-2017 sont représentées sur la figure ci-dessus et présentent des variabilités considérables d'année en année. Les débits annuels varient fortement au niveau de toutes les stations d'études.

Pour la station de Ké-Macina les moyens interannuels des débits varient entre 1285,94 m³/s et 504,77 m³/s. Le débit de crue est observé en 1994 et le débit d'étiage est observé en 2004. À partir de 1981, on observe une décroissance du débit jusqu'à

1993 et subitement le pic est atteint en 1994. Tous les débits sont supérieurs à 500 m³/s.

Les observations suivantes sont faites, au niveau de la station de Douna, les moyennes annuelles des débits varient entre 873,73 m³/s et 18,94 m³/s. Le débit de crue de la station de Douna a été observé en 2012 et le débit d'étiage en 1998. Pour la période 1981-1998, les débits sont inférieurs à 500m³ mais au-delà de 2006, on observe un débit qui est supérieur à 500 m³/s.

Au niveau de la station de Kara situé sur l'affluent le Diaka qui alimente le cercle de Tenenkou et fini sa course dans le lac Débo, les données mises à jour s'arrête à 2009, on observe que le débit de crue est observé en 2003 avec un débit de 788,75 m³/s et un débit d'étiage en 1984 avec un débit de 188,46 m³/s.

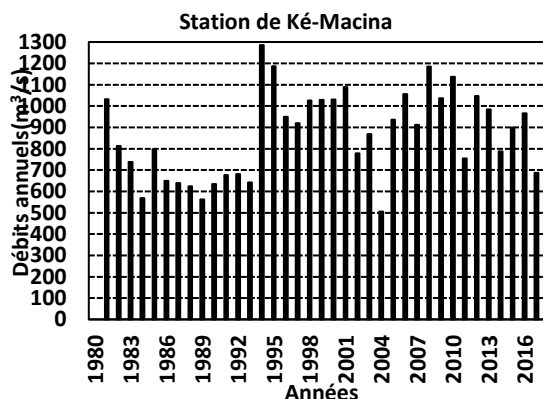
Au niveau de la station de Mopti, le débit de crue est observé en 1994 avec un débit de 1082,58m³ et un débit d'étiage de 425,17 m³/s en 1984. Tous les débits annuels sont supérieurs à 400 m³/s.

Au niveau de la station d'Akka (cercle de Youwarou), le débit de crue est observé en 2007 avec un débit de 1319,37 m³/s et le débit d'étiage est observé en 1984 avec un débit de 444,01 m³/s.

Pour la station de Diré, c'est-à-dire la sortie du delta intérieur, les débits moyens annuels varient entre 990,43 m³/s et 455,75 m³/s. Le débit de crue est observé en 1995 et le débit d'étiage est observé en 1984.

Au niveau des deux entrées du delta intérieur du Niger c'est-à-dire Douna et Ké-Macina, la majeure partie de l'eau qui alimente le delta intérieur du Niger provient du fleuve Niger et le reste du Bani qui est l'un des affluents majeurs du fleuve Niger. Le débit à la sortie du delta intérieur du Niger, c'est-à-dire au niveau de la station de Diré, les débits moyens annuels sont supérieurs à 400 m³/s.

Au niveau des 6 stations d'études, on observe que la période 1982-1993 est une période sèche



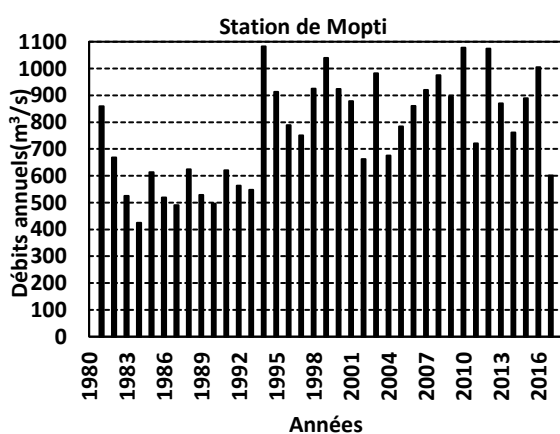
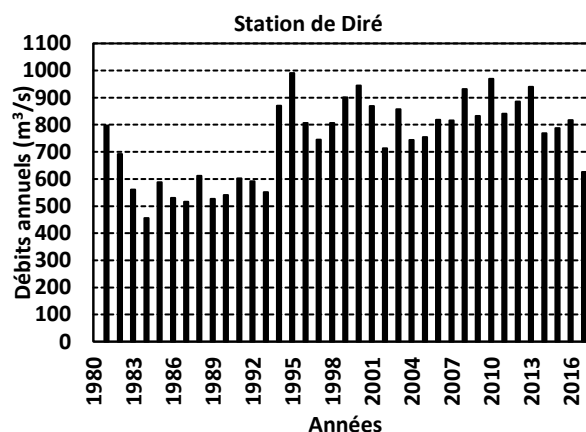
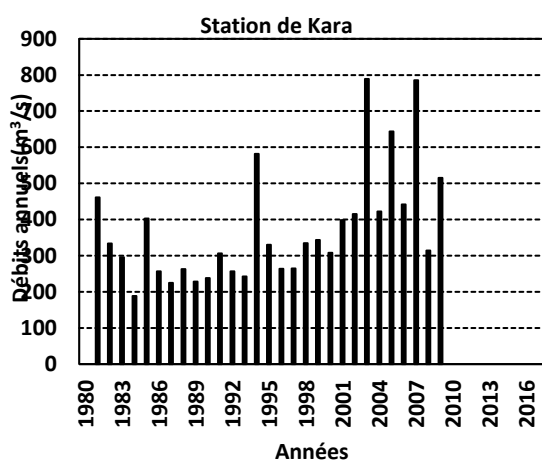
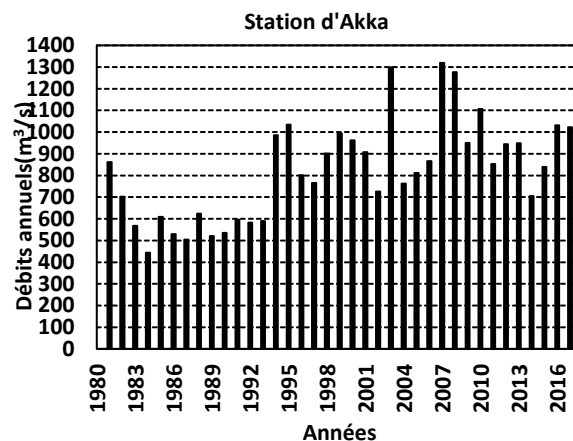
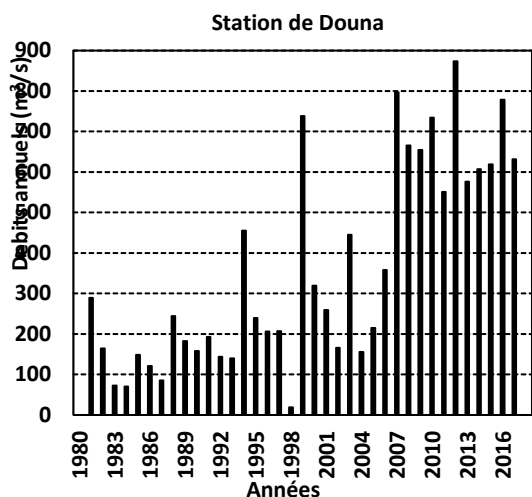


Figure 3. Variations interannuelles des débits durant la période 1980 – 2017.

4.3. Variation mensuelle

Les variations mensuelles sont représentées sur la figure ci-dessous.

Au niveau de la station de Ké-Macina, du mois de janvier jusqu'au mois de mai, on a des débits très faibles et le débit d'étiage est observé pendant le mois d'avril avec une valeur de $52,53 \text{ m}^3/\text{s}$ mais à partir du mois de juin on a croissance du débit et le pic est atteint pendant le mois de septembre avec comme débit de crue $3090,82 \text{ m}^3/\text{s}$. Au-delà du mois de septembre on observe une décroissance.

Pour la station de Douna, on a une décroissance du débit du mois de janvier au mois de juin mais à partir du mois de juillet, on observe une croissance du débit pour atteindre son maximum en septembre avec une valeur de $1370,50 \text{ m}^3/\text{s}$. Au-delà du mois de septembre une décroissance est observée jusqu'en janvier.

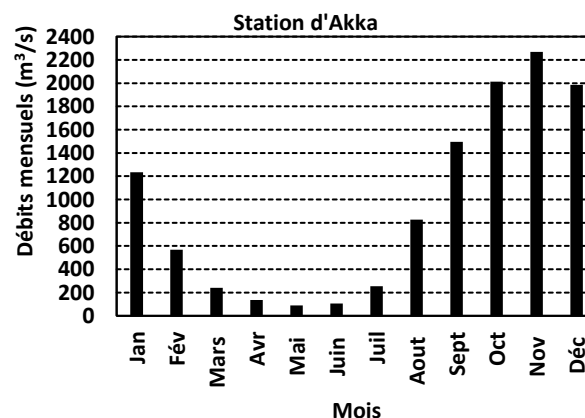
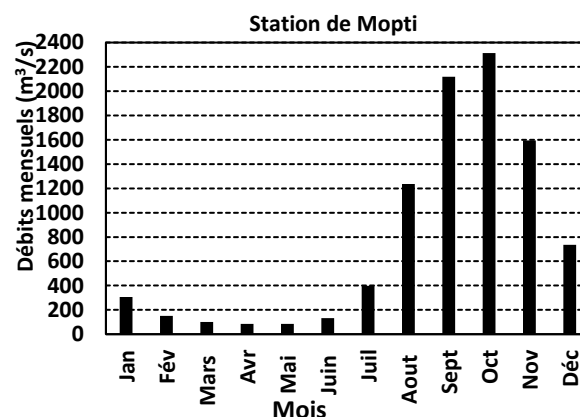
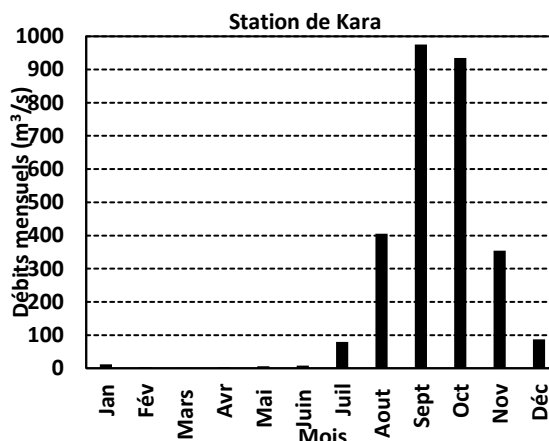
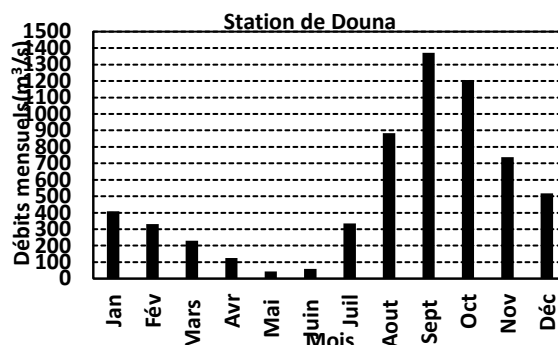
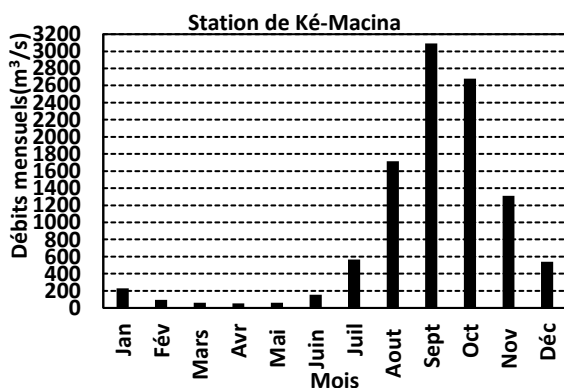
Au niveau de la station de Kara, du mois de janvier au mois de juin, on a des traces de débits ce n'est qu'à partir du mois de juillet que le débit croît pour atteindre son pic en septembre avec une valeur de $975,42 \text{ m}^3/\text{s}$. A partir du mois de septembre on a une décroissance.

Pour la station de Mopti, du mois de janvier au mois de mai on a des débits qui sont en dessous de 400 m³/s et le débit d'été est observé en mai avec 84,44 m³/s. A partir du mois de juin, on a une croissance du débit et le pic est atteint en octobre avec une valeur de 2313,46 m³/s. Au-delà du mois d'octobre, on a une décroissance du débit.

Au niveau de la station d'Akka (cercele de Youwarou), on observe une décroissance du débit, du mois de janvier au mois de juin, le débit d'été est observé en mois de mai avec une valeur de 89,17 m³/s. A partir du mois de juin on a une croissance du débit et le pic est atteint en novembre avec une valeur de 2267,64 m³/s. A partir du mois de novembre, on observe une décroissance du débit.

Au niveau de la station de Diré, du mois de janvier au mois de juin, on observe une décroissance du débit et le débit d'été est observé au mois de mai avec un débit de 57,82 m³/s. A partir du mois de juillet au mois de juillet, on a une croissance du débit et le débit de crue est observé pendant le mois de novembre avec une valeur de 1739,63 m³/s. Au-delà du mois de novembre le débit décroît.

Sur les six (6) stations d'étude, le débit croît à partir du mois de juillet pour atteindre son maximum au mois de septembre pour les stations de Ké-Macina et Douna qui sont les deux stations d'entrée dans le Delta intérieur du Niger et la station de Kara, la station de Mopti atteint son maximum au mois d'octobre, la station d'Akka atteint son maximum au mois de Novembre et la station de Diré qui est la sortie du delta intérieur du Niger atteint son débit de crue au mois de novembre. Le décalage du mois de crue entre les stations est dû à la distance entre les stations. L'écoulement met un temps d'une station à une autre.



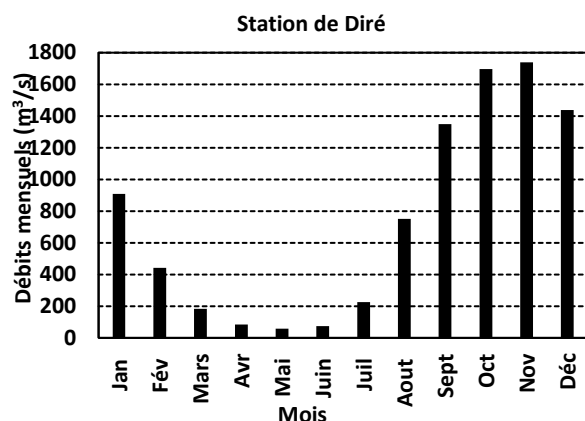


Figure 4. Variation des débits mensuels durant la période 1980-2017

4.4. Indice de ruissellement normalisé

Les indices de ruissellement normalisé annuels sont représentés sur la figure ci-dessous.

Au niveau de la station de Ké-Macina, excepté l'année 1981, l'indice de ruissellement, nous indique les années allant de 1980 à 1993 est une période déficitaire avec comme indice respectif -0,26 et -1,32 par contre la période allant de 1994 à 2016 est une période où on observe un débit de crue excepté la période 2002-2004 où on observe un débit d'étiage alors une période sèche.

Au niveau de la station de Douna, l'indice de ruissellement, nous donne les informations suivantes : la période 1981-2005 avec comme indice respectif -0,26 et -0,56 est une période déficitaire excepté l'année 1994, 1999 et 2003 qui sont des années où de crue. La période allant de 2007-2017 avec comme indice respectif 1,77 et 1,11 est une période où on observe un débit de crue alors une période humide.

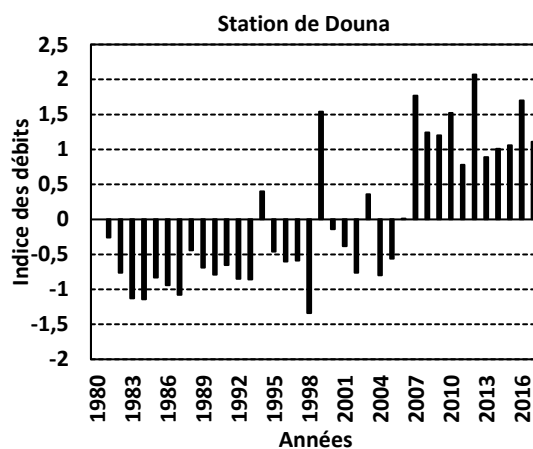
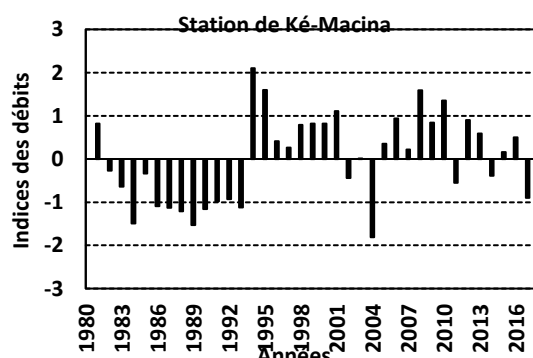
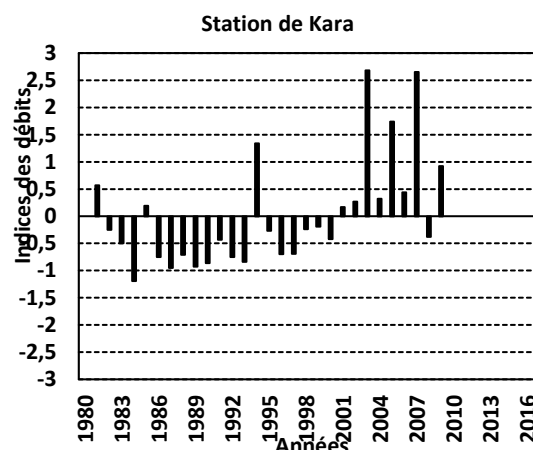
Au niveau de la station Kara, excepté les années 1981 et 1994, la période 1982-2000 est une période sèche avec comme indice respectif -0,25 et -0,42 et la période 2001 à 2009 est une période humide avec comme indice respectif 0,17 et 0,92 excepté l'année 2008 qui est une année déficitaire. Au-delà de 2009, la station n'a pas été mise à jour.

Au niveau de la station de Mopti, la période 1982-1993 est une période déficitaire avec comme indice respectif -0,53 et -1,16 excepté l'année 1981 qui est une année humide. La période 1994-2016 est une période humide avec comme indice respectif 1,64 et 1,24 excepté les années 2002, 2004 et 2011 qui sont des années déficitaires.

Au niveau de la station d'Akka (cercle de Youwarou), la période 1982-1997 est une période déficitaire avec comme indice respectif -0,39 et -0,14 excepté les années 1981, 1994 et 1995 qui sont des années humides. La période 1994 -2017 est

une période humide avec comme indice respectif 0,71 et 0,85 excepté les années 1996, 2002 et 2014 qui sont des années sèches.

Au niveau de la station de Diré, la période 1982 à 1993 est une période où on observe un débit d'étiage avec respectivement des indices de variation de -0,36 et -1,32. De la période 1994 à 2016, on observe une période de débit de crue avec comme indice respectif 0,84 et 0,48 ; excepté l'année 2002 et l'année 2017 qui sont des années sèches.



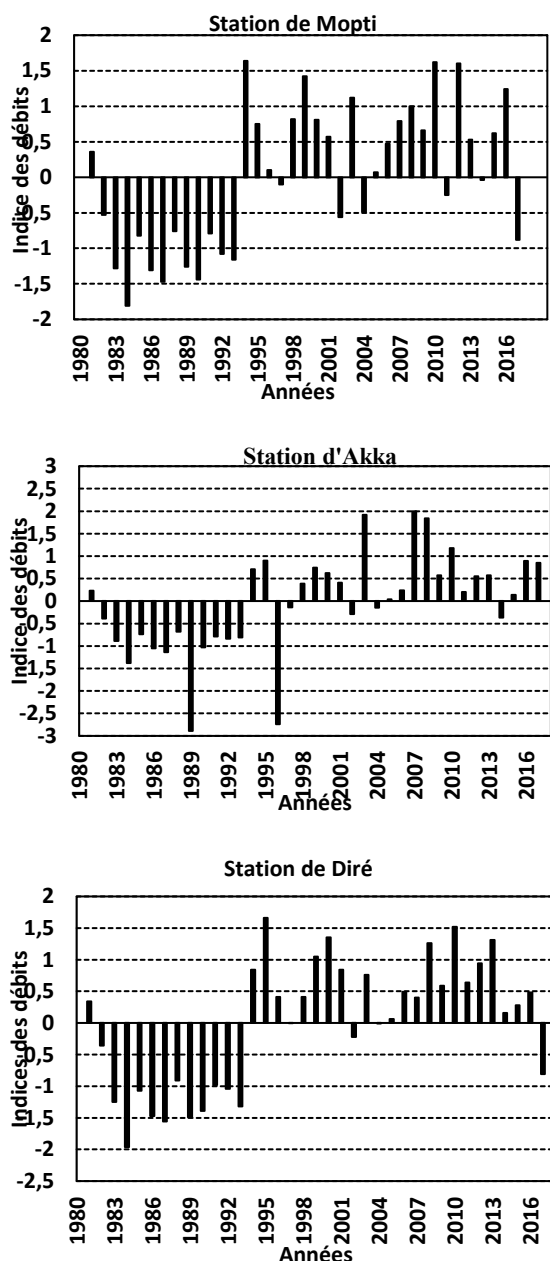


Figure 5. Indice de ruissellement normalisée 1980-2017

5. Débits d'entrée et de sortie en fonction des dates

Les variations des débits des stations de Ké-Macina, Douna et Diré sont représentées sur la figure ci-dessous :

Au niveau des trois stations, on observe que les débits varient dans le même sens. Sur les trois stations, on observe une variation en dent de scie. De 1981 à 1983, sur les trois stations, on observe une décroissance du débit annuel, sur la période 1983-1992 la variation n'est pas soutenue. De la période 1992-1997, on observe une variation du débit et la station de Ké-Macina et Diré atteignent respectivement leur pic en 1993 et 1994 avec des valeurs respectives de $1285,94\text{m}^3/\text{s}$ et $990,43\text{m}^3/\text{s}$

mais la station de Douna atteint son pic en 1998 avec une valeur de $738,56\text{m}^3/\text{s}$.

Il y a des pertes d'eau par évaporation, des infiltrations et des aménagements agricoles.

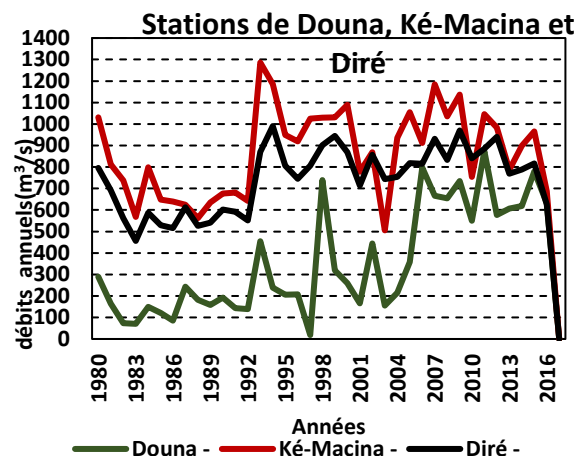


Figure 4. Les trois stations (Douna, Ké-Macina et Diré)

6. Conclusion

Les analyses des données hydrologiques disponibles ont permis d'identifier les variations des débits à la rentrée, au centre et à la sortie du delta intérieur du Niger. Les méthodes de détermination des indices de ruissellement normalisés des stations hydrométriques de la zone d'étude ont permis d'identifier des périodes humides, normales et sèches.

Au niveau de la station de Ké-Macina une période sèche de 1981 à 1993 et une période humide à 2016 avec une exception 2004 qui est une année déficitaire sont observés.

Au niveau de la station de Douna 1981 à 2007, on a une période déficitaire excepté les trois années 1994, 1998 et 2003 qui sont des périodes humides. De l'année 2007 à 2017, on a une période humide.

Au niveau de la station de Kara, la période 1981-2000 est une période sèche et la période 2001-2009 est une période humide.

Au niveau de la station de Mopti, la période 1981-1993 est une période déficitaire et la période 1994-2016 est une période humide.

Au niveau de la station d'Akka, la période 1981-1997 est une période déficitaire et la période 1994 - 2017 est une période humide excepté les années 1996, 2002 et 2014 qui sont des années sèches.

Au niveau de la station de Diré, de 1981 à 1993, excepté l'année 1981 qui est une année humide, on

observe une période déficitaire tandis que la période 1994 à 2016 est une période humide excepté l'année 2002.

Sur l'ensemble des trois stations hydrologiques, le débit d'étiage le plus bas est observé au niveau de la station de Douana avec $18,94\text{m}^3$ et un indice de ruissellement de -1,84 et le débit de crue le plus élevé au niveau de la station de Ké-Macina avec comme valeur $1285,94\text{m}^3$ et un indice de ruissellement de 2,1.

Ces résultats doivent servir de constat et de source de réflexion pour les études futures.

Bibliographie.

1. Organisation Mondiale de la Santé: Rapport, Le droit à l'eau. Genève, Avril 2011. Numéro d'information N°35, Vol.69 pages.
2. LIENOU Gaston: Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau et les transports de matières suspension de quelques bassins versants représentatifs au Cameroun. Yaoundé, thèse doctorale, 03 février 2007. Vol. 486 pages.
3. MAGAND Claire: Influence de la représentation des processus nivaux sur l'hydrologie de la duranc et sa réponse au changement climatique, thèse doctorale. 6 juin 2014, Vol. 349 pages.
4. Coalition eau et le mouvement des ONG française engagées pour l'accès à l'eau et à l'assainissement pour tous : Rapport, eau et changement climatique, Montreuil, juillet 2014. Vol. 60 pages.
5. Eddy WYMENGA, Bakary KONE, Jan VAN DER KAMP & Leo ZWARTS: Rapport, Écologie et gestion durable des ressources naturelles du Delta intérieur du Niger, . [éd.] Ministère de L'Environnement (Mali) Wetlands International. Bamako, Février 2001, Vol. 133 pages.
6. Mariko A., Mahé G. et Servat E: Article, Les surfaces inondées dans le delta intérieur du Niger au Mali PAR NOAA/AVHRR, Bamako, Bulletin SFPT n° 172 (2003-2004), Vol. 8 pages.
7. Cécile Picouet: Géodynamique d'un hydrosystème tropical peu anthropysé, le bassin supérieur du Niger et son Delta Intérieur, thèse doctorale, Montpellier, 30 juin 1999. Vol. 470 pages.
8. G. MAHE, D. ORANGE, A. MARIKO & J. P. BRICQUET: Estimation of the flooded area of the Inner Delta of the River Niger in Mali by hydrological balance and satellite data, Melbourne, Australia, July 2011. Vol. 6 pages.
9. Institut de Recherche pour le Développement (IRD) et Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture (UNESCO): Le fleuve Niger, de la forêt tropicale guinéenne au désert saharien, les grands traits des régimes hydrologiques, Bamako, Afrik.m, Sokona Tounkara, mars 2012. Vol. 27 pages.
10. Aïda Zare: Variabilité climatique et gestion des ressources naturelles dans une zone humide tropicale: une approche intégrée appliquée au cas du delta intérieur du fleuve Niger (Mali), thèse doctorale. Montpellier, 8 juin 2016, Vol. 215 pages.

Estimation du forçage radiatif des aérosols atmosphériques par les mesures photométriques en Afrique de l'Ouest

Adama H COULIBALY¹, Namory CAMARA², Cheick DIARRA¹

¹Laboratoire d'Optique, de Spectroscopie et des Sciences Atmosphériques, Faculté des Sciences et Techniques, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako;

²Centre de Calcul de Modélisation et de Simulation, Faculté des Sciences et Techniques, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako

Email: c.adamah90@gmail.com

Résumé : Les aérosols atmosphériques sont des composants essentiels dans la machine climatique. Ils contribuent d'une façon significative à l'extinction du rayonnement au sein de l'atmosphère par les processus d'absorption et de diffusion. Ces processus peuvent être quantifiés sous le terme de forçage radiatif direct ; la détermination de ce forçage reste incertaine à l'heure actuelle au niveau régional et global. Ce travail contribue à l'estimation de ce forçage à l'échelle régionale. Cette quantification est faite avec une méthode basée sur l'analyse des données du forçage radiatif des aérosols atmosphériques en Afrique de l'ouest à travers six stations photométriques du réseau AERONET (AErosol RObotic NETwork).

L'analyse des moyennes mensuelles et annuelles du forçage radiatif direct des aérosols révèle de larges variabilités spatio-temporelles du forçage radiatif direct des aérosols au niveau de l'ensemble des six stations photométriques. Les résultats montrent également que les moyennes mensuelles du forçage radiatif direct sont des valeurs négatives allant de -20 W.m^{-2} (station de Cap-Vert) à plus de -100 W.m^{-2} (station d'Ilorin). Les moyennes annuelles sont également des valeurs négatives comprises entre $-16,42 \text{ W.m}^{-2}$ (station de Cap-Vert) à $-75,37 \text{ W.m}^{-2}$ (station d'Ilorin). Ces observations suggèrent que les aérosols présents dans la colonne atmosphérique des différentes localités contribuent à un refroidissement de l'atmosphère au-dessus de l'Afrique de l'ouest. Ce qui montre que ces aérosols sont d'origines minérales, issus de la poussière désertique localement générée par le vent et de la poussière issus de l'agriculture, du transport et d'autres activités socio-économiques, surtout en milieu urbain et des embruns marins. Ces résultats prouvent que ces types d'aérosols sont très abondants dans la colonne atmosphérique au-dessus des différentes localités considérées. Ces résultats sont en accord avec d'autres études menées sur l'estimation du forçage radiatif des aérosols d'origine minérale à l'échelle régionale ouest-africaine.

Mots clés : Aérosols atmosphériques, forçage radiatif, Afrique de l'Ouest.

Abstract: Atmospheric aerosols are essential components in the climate machine. They significantly contribute to the extinction of radiation from the atmosphere through absorption and scattering processes. These processes can be quantified under the term direct radiative forcing; the determination of this forcing remains uncertain at present at the regional and global level. This work contributes to the estimation of this forcing on a regional scale. This quantification is done with a method based on the analysis of radiative forcing data from atmospheric aerosols in West Africa through six photometric stations of the AERONET network (AErosol RObotic NETwork).

Analysis of monthly and annual averages of direct aerosol radiative forcing reveals large spatio-temporal variability of direct aerosol radiative forcing at all six photometric stations. The results also show that the monthly means of the direct radiative forcing are negative values ranging from -20 W.m^{-2} (Cape Verde station) to more than -100 W.m^{-2} (Ilorin station). The annual averages are also negative values ranging between -16.42 W.m^{-2} (Cape Verde station) to -75.37 W.m^{-2} (Ilorin station). These observations suggest that the aerosols present in the atmospheric column of the various localities contribute to a cooling of the atmosphere over West Africa. This shows that these aerosols are of mineral origin, resulting from desert dust locally generated by the wind and dust from agriculture, transport and other socio-economic activities, especially in urban areas and sea spray. sailors. These results prove that these types of aerosols are very abundant in the atmospheric column above the various localities considered. These results are in agreement with other studies carried out on the estimation of radiative forcing of aerosols of mineral origin at the West African regional scale.

Keywords : Atmospheric aerosols, radiative forcing, West Africa.

1. Introduction

Les aérosols atmosphériques jouent un rôle important dans le système climatique de la Terre. Ils affectent directement le bilan radiatif de la Terre par la diffusion et l'absorption des rayonnements solaire et

tellurique (effet radiatif direct) [1] et indirectement en modifiant la réflectance et la persistance des nuages (effets semi-directs et indirects) [1], [2]. Les particules absorbantes présentent un intérêt particulier car elles peuvent causer un réchauffement

de l'atmosphère, provoquent simultanément un refroidissement de surface [3]. Ces effets opposés peuvent modifier la dynamique atmosphérique, le régime des précipitations et le gradient de température [3], [5]. Les principaux composants absorbants des aérosols sont le carbone noir et carbone brun [6]. La première se réfère aux particules de suie formées par la combustion, tandis que la seconde correspond aux matières organiques d'origines diverses. Il est également démontré que la poussière du sol a une efficacité d'absorption de la lumière, en fonction de leur taille et de leur composition minérale [4]. Ces particules absorbent et diffusent directement le rayonnement infrarouge et impactent les propriétés optiques et microphysiques des nuages [3], [6], [8]. Comme le carbone noir / brun et la poussière minérale représentent potentiellement une grande fraction de la composition de l'aérosol, la contribution de l'absorption dans l'interaction particules-lumière peut être importante [7].

La haute variabilité spatiale et temporelle des particules minérales issues de la poussière et la complexité dans leurs propriétés optiques et microphysiques présentent un défi majeur pour notre compréhension sur l'impact de ces particules sur l'environnement [2].

Le forçage radiatif des aérosols que nous noterons FRA, est l'une des sources majeures d'incertitude sur l'évolution du climat et du cycle de l'eau (4ème rapport du GIEC).

L'estimation du forçage radiatif des aérosols (en $W.m^{-2}$) est complexe, à cause de leur large variabilité spatiale et temporelle et de leur courte durée de vie dans l'atmosphère [9]. Une information bien analysée sur la variabilité spatio-temporelle des aérosols, leurs concentrations et leurs propriétés, est nécessaire pour estimer le FRA. L'estimation du FRA dépend aussi des types d'aérosols (naturels et anthropiques) [10]. La quantification du forçage radiatif indirect induit par les aérosols est très difficile [1] [4]. En plus de la variabilité des concentrations des aérosols, quelques influences entièrement dues aux aérosols sur le processus de formation des nuages doivent être prises en compte [6]. Le forçage radiatif indirect des aérosols peut être divisé en deux. Le premier forçage radiatif indirect est associé au changement de concentration des gouttelettes d'eau, dû aux augmentations des noyaux de condensation des nuages en quantité d'aérosols. Le second forçage radiatif indirect est associé au changement de l'efficacité de précipitation qui résulte d'une modification de la concentration en nombre des gouttelettes d'eau [1], [12]. La quantification de ce dernier forçage nécessite la compréhension d'une modification du contenu d'eau liquide dans les nuages et de la quantité même des nuages [12]. En

plus du réchauffement des nuages, les nuages des glaces peuvent être aussi affectés par les aérosols [2].

D'après le troisième rapport d'évaluation du GIEC, 2001, il existe encore de larges incertitudes sur les estimations des forçages radiatifs indirect et direct des aérosols. La moyenne globale du forçage direct des aérosols, pouvant être noté FRDA ou simplement FRA, résultant du sulfate anthropogénique est $-0,4 W.m^{-2}$ (de $-0,2$ à $-0,8 W.m^{-2}$), celle des aérosols des feux de biomasse est $-0,2 W.m^{-2}$ (de $-0,07$ à $-0,6 W.m^{-2}$), du carbone noir (combustible fossile) est $+0,2 W.m^{-2}$ (de $+0,1$ à $+0,4 W.m^{-2}$) et celle de la poussière minérale peut être comprise entre $-0,6 W.m^{-2}$ et $+0,4 W.m^{-2}$ [5]

Les aérosols peuvent être détectés depuis le sol par des techniques de télédétection passive ou active. Ainsi, un réseau mondial de radiomètres solaires (radiomètres Sun-Sky) appelés aussi photomètres solaires, nommé AERONET a été établi par la NASA (National Aeronautics and Space Administration) en collaboration avec le Laboratoire d'Optique Atmosphérique (LOA) de l'Université des Sciences et Technologies de Lille (France) [7].

Les données photométriques sont groupées en deux types : les données issues des mesures directes (ou almucantar) du rayonnement solaire dénommées Direct Sun Algorithm et les données obtenues à partir des produits d'inversion [7], [12]. Les données issues des mesures directes fournissent l'épaisseur optique à des longueurs d'onde λ (dites standard) : 440, 500, 675, 870, 870 et 1020 nm ; le coefficient d'Angstrom α à des intervalles de longueurs d'onde : 440-870 nm, 440-675 nm, 500-870 nm et la quantité de vapeur d'eau atmosphérique en centimètre (cm) à la longueur d'onde de 940 nm [4]. Les données obtenues pour les produits d'inversion sont : la distribution en taille des particules, l'albédo de simple diffusion, le facteur d'asymétrie, l'indice de réfraction, la fonction de phase, le forçage radiatif et autres paramètres plus ou moins utilisés surtout dans la télédétection satellitaire [7].

Les algorithmes de traitement ont évolué de la version 1.0 à la version 2.0 et tout récemment la version 3.0. [1], [2]

Les données des mesures sont stockées et fournies aux utilisateurs sous trois niveaux. Le niveau 1.0 correspond aux données brutes mesurées puis transmises au centre de traitement. Le niveau 1.5 consiste à filtrer les données 1.0 prises dans les conditions nuageuses. Le niveau 2.0 fournit une qualité dite "assurée" en vérifiant la stabilité temporelle des filtres qui est propre à chaque instrument. Ce niveau est accessible plusieurs mois après l'acquisition [2].

Les bases de données version 3 sont disponibles sur le site AERONET : <http://aeronet.gsfc.nasa.gov>. Les données de la version 2 ne sont plus d'actualité depuis 2018, et sont désormais mises à disposition par la suite d'une demande spéciale [4].

Les aérosols atmosphériques en général, et le forçage radiatif des aérosols en particulier, ont fait l'objet de nombreuses études en Afrique et dans le reste du monde.

M. Mallet et al. 2016 : *“Overview of the Chemistry-Aerosol Mediterranean Experiment/Aerosol Direct Radiative Forcing on the Mediterranean Climate (ChArMEx/ADRIMED) summer 2013 campaign”*.

G. L. Schuster et al. en 2016 : *“Remote sensing of soot carbon – Part 2 : Understanding the absorption Ångström exponent”*

Cheng Chen et al. en 2018 : *“Retrieval of desert dust and carbonaceous aerosol emissions over Africa from POLDER/PARASOL products generated by the GRASP algorithm”*

Michael Weger et al. 2018 : *“The impact of mineral dust on cloud formation during the Saharan dust event in April 2014 over Europe”*

Ces études sont limitées dans le temps et/ou dans l'espace, c'est-à-dire elles sont réalisées soit à courte échelle temporelle pour une longue échelle spatiale, soit à courte échelle spatiale pour une longue échelle temporelle. En plus les études antérieures à l'année 2018 ayant utilisé les données AERONET sont limitées à la version 2 des données de ce réseau. Par conséquent, à cause des larges variabilités spatio-temporelles des aérosols, et surtout avec l'amélioration de la version des données AERONET en version 3, des études continues utilisant les

données AERONET sont nécessaires et importantes pour comprendre les tendances réelles sur l'évolution des particules atmosphériques.

Cette étude s'effectue à la fois sur une longue période (10 ans) et dans une vaste zone (zone sahélienne de l'Afrique de l'ouest), avec la version 3 de données AERONET. Elle permet à cet effet, de contribuer à l'amélioration des connaissances sur les effets des aérosols et de prouver la consistance et la fiabilité de cette nouvelle version de données du réseau AERONET.

1. Site

Pour cette étude, nous avons considéré six stations photométriques du réseau AERONET en Afrique de l'ouest. Ces stations sont :

- Station de Zinder : Latitude: 13,77668 ° Nord Longitude : 8,99023 ° Est Altitude : 456,0 mètres ; P.I. : Jean Louis Rajot
- Station d'Ilorin : Latitude : 8,320 ° Nord ; Longitude : 4,340 ° Est ; Altitude : 350 mètres ; P.I. : Rachel T. Pinker
- Station de banizoumbou : Latitude : 13,541° Nord ; Longitude : 2,664° Est ; Altitude : 250 mètres ; P.I. : Didier TANRI
- Station IER_Cinzana : Latitude : 13,278° Nord ; Longitude : 5,933° Ouest ; Altitude : 285,00 mètres ; P.I. : Bernadette Chatenet
- Station de Dakar : Latitude : 14,394° Nord ; Longitude : 16,958° Ouest ; Altitude : 0 ; P.I. : Didier Tanri
- Station de Cap-Vert : Latitude : 16,732° Nord ; Longitude : 22,935° Ouest ; Altitude : 60 mètres ; P.I. : Didier Tanri

La figure 1, ci-dessous localise les différents sites considérés en zone sahélienne de l'Afrique de l'ouest

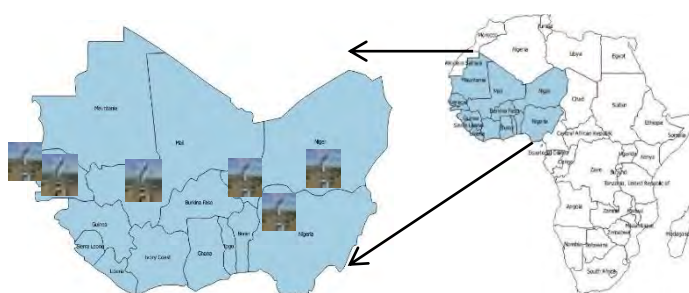


Figure 1 : Localisation des six stations photométriques de la zone d'étude considérée du réseau AERONET : Zinder, Ilorin, Banizoumbou, IER_Cinzana, Dakar et Cap Vert

2. données

Les données AERONET du forçage radiatif des aérosols sont de la version 3.0 et du niveau 2.0 téléchargées depuis le site du réseau AERONET. Les

données téléchargées sont les moyennes journalières du forçage radiatif des aérosols au sommet et à la base de l'atmosphère, suivant l'option "daily average" sur l'ensemble des sites considérés.

Les données sont extraites et exportées au format Excel en vue de les exploiter.



Figure 2 : plateforme de téléchargement des données AERONET

3. méthodologie

La méthodologie est basée sur l'analyse statistique des moyennes mensuelles et des moyennes annuelles avec leurs déviations standards du forçage radiatif direct des aérosols durant la période 2009 – 2019 pour l'ensemble des six stations considérées en Afrique de l'ouest.

Le forçage radiatif direct des aérosols est déterminé en faisant la différence entre le forçage radiatif des aérosols au sommet et à la base de l'atmosphère directement recueillis sur la plate-forme des données du réseau AERONET. Les moyennes mensuelles du forçage radiatif direct des aérosols sont représentées par une variation des valeurs du forçage radiatif en fonction des mois de la période considérée à l'aide des histogrammes. Les moyennes annuelles sont présentées par des tableaux qui comportent l'ensemble des années sur la période d'étude et les valeurs moyennes annuelles du forçage radiatif avec leurs déviations standards.

4. Résultats et discussions

Les variations des moyennes mensuelles du forçage radiatif direct des aérosols aux niveaux des six stations photométriques, Zinder, Ilorin, Banizoumbou, IER_Cinzana, Dakar et Cap Vert, sont respectivement représentées sur la figure 4.1 durant l'ensemble des périodes considérées de 2010 à 2019. Les valeurs du forçage radiatif direct des aérosols sont toutes négatives pour toutes les localités

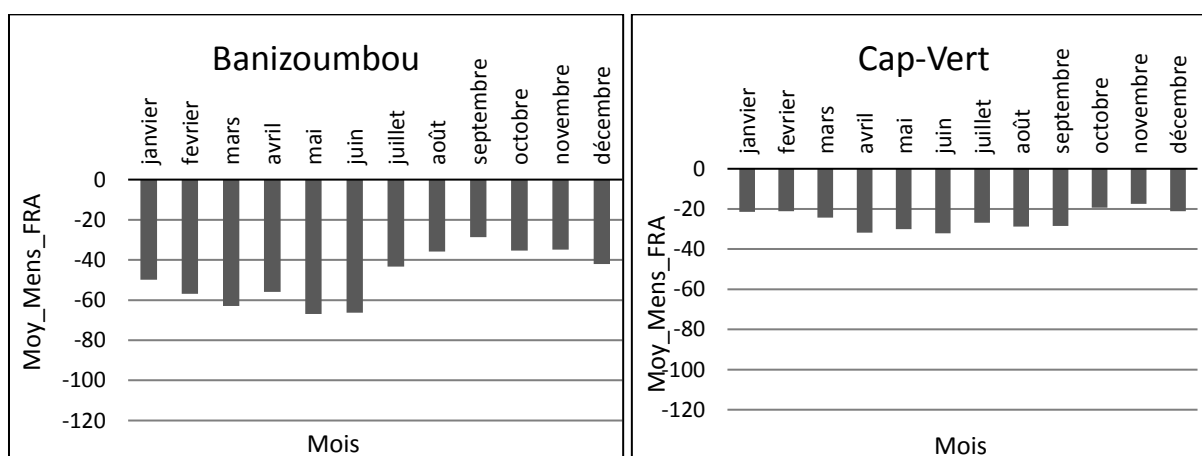
considérées. Les moyennes mensuelles du forçage radiatif direct des aérosols au niveau de la station de Zinder (figure 4.6) indiquent de variabilités considérables d'un mois à un autre et sont de -30 W.m^{-2} à -60 W.m^{-2} . Les moyennes mensuelles du forçage radiatif direct des aérosols les plus élevées (valeurs au-delà de -50 W.m^{-2}) sont observées aux mois de février à juin. Cette observation indique une forte contribution des aérosols atmosphériques dans le bilan radiatif de la Terre dans le sens du refroidissement durant ces mois. Les valeurs moyennes (valeurs comprises entre -40 W.m^{-2} et -50 W.m^{-2}) sont observées aux mois de janvier, septembre, octobre puis décembre et les moyennes mensuelles les plus faibles (valeurs en deçà de 40 W.m^{-2}) sont observées au mois d'août et au mois de novembre. Ceci qui indique que la tendance de refroidissement de l'atmosphère terrestre dû aux aérosols atmosphériques est la plus faible durant les mois d'août et novembre dans la localité considérée. Pour la station d'Ilorin les moyennes mensuelles du forçage radiatif direct des aérosols indiquent de larges variabilités qui vont de -20 W.m^{-2} à -110 W.m^{-2} . La figure met en évidence deux périodes où l'on observe une nette différence des variabilités, notamment la période allant de d'avril à novembre (moyennes mensuelles en dessous -50 W.m^{-2}) et celle de décembre à mars (moyennes mensuelles supérieures à -60 W.m^{-2}). Ceci suggère que durant la première période mentionnée, c'est-à-dire, d'avril à novembre, la contribution des aérosols atmosphériques dans le refroidissement de l'atmosphère est la moindre durant l'ensemble de la période considérée 2010 – 2019 au niveau de la station d'Ilorin. Dans la seconde période, décembre – février, les moyennes mensuelles semblent indiquer une forte contribution des aérosols refroidissants au niveau de la station d'Ilorin. À la station de Banizoumbou, les moyennes mensuelles du forçage radiatif direct des aérosols indiquent d'importantes variabilités de -30 W.m^{-2} à -70 W.m^{-2} . Les moyennes mensuelles les plus élevées (valeurs supérieures à -50 W.m^{-2}) sont observées durant la période recouvrant les mois de janvier à juin). Ce qui indique un refroidissement de l'atmosphère qui serait très probablement lié cette période, la contribution des aérosols dans la colonne atmosphérique de la localité durant la période considérée. Les moyennes mensuelles les plus faibles (valeurs en deçà de -50 W.m^{-2}) sont observées durant la période comprenant les mois de juillet à décembre, le mois de septembre enregistrant la plus faible moyenne mensuelle. Ceci laisse croire que cette période est celle où l'on observe une diminution de la contribution des aérosols atmosphériques dans le refroidissement de l'atmosphère terrestre dans la localité considérée. À la station de l'IER_Cinzana, les moyennes mensuelles du forçage radiatif direct des aérosols présentent de larges variabilités et sont de -25 W.m^{-2} à -70 W.m^{-2} . Ceci semble indiquer une tendance

globale de refroidissement comme pour les stations précédentes. En effet, les moyennes mensuelles les plus élevées (valeurs allant -50 W.m^{-2} à -70 W.m^{-2}) sont observées durant la période de janvier à juin, indiquant une forte contribution de refroidissement de l'atmosphère de la localité. Les moyennes mensuelles faibles (valeurs en deçà de -40 W.m^{-2}) indiquent une baisse dans la contribution du refroidissement de l'atmosphère due aux aérosols dans la colonne atmosphérique durant la période d'août à septembre avec les mois de juin et décembre marquant la transition avec la première période. Pour la station de Dakar les moyennes mensuelles du forçage radiatif direct des aérosols varient de -38 W.m^{-2} à -48 W.m^{-2} . Ces variabilités sont moins considérables et sont réparties en deux périodes caractérisées par les valeurs des moyennes mensuelles comprises entre -40 W.m^{-2} et -48 W.m^{-2} pour la première et les valeurs inférieures à -40 W.m^{-2} pour la seconde. Dans la première période allant de janvier à juin la contribution des aérosols dans la colonne atmosphérique au-dessus de la station de Dakar dans le refroidissement de l'atmosphère est légèrement plus importante qu'au cours de la seconde couvrant les mois de juillet à décembre. Pour la station de Cap-Vert, les moyennes mensuelles du forçage radiatif direct des aérosols présentent des variabilités non moins considérables (-18 W.m^{-2} à -35 W.m^{-2}) durant la période d'étude considérée 2010 – 2019. Les moyennes mensuelles au-delà de -20 W.m^{-2} sont observées durant les mois de janvier à septembre, puis le mois de décembre. Les mois d'octobre et de novembre enregistrent les moyennes mensuelles en deçà de -20 W.m^{-2} . Ceci semble indiquer que les aérosols dans la colonne atmosphérique au-dessus de la localité contribuent à un refroidissement pratiquement uniforme de

l'atmosphère, mais légèrement prononcé durant les mois de mars à septembre.

En conclusion les moyennes mensuelles du forçage radiatif direct des aérosols présentent de larges variabilités spatiales (d'une station à une autre) et temporelles (au niveau d'une station durant la période d'étude 2010 – 2019). Notamment les variabilités spatiales sont marquées par de fortes valeurs de moyennes mensuelles sont observées au niveau de la station d'Ilorin où les moyennes mensuelles dépassent de loin la valeur de -40 W.m^{-2} (de décembre à mars) contre des moyennes mensuelles faibles pour la station de Cap-Vert où les valeurs n'atteignent pas -40 W.m^{-2} . Cette disparité est marquée par la période allant de décembre à mars. Pour les stations de Banizoumbou et IER_Cinzana, les variabilités des moyennes mensuelles sont assez proches. En outre les moyennes mensuelles les plus élevées sont observées pratiquement durant la même période, janvier – juillet qui caractérise la forte contribution des aérosols atmosphériques de ces deux localités dans le refroidissement de l'atmosphère terrestre. Pour les stations de Zinder et de Banizoumbou les variabilités temporelles sont similaires, ce qui est le même constat pour les stations de Dakar et de Cap-Vert où les variabilités temporelles sont les moins considérables. Les résultats nous indiquent que la station de Cap-vert reste la localité où la contribution des aérosols atmosphériques dans le refroidissement de l'atmosphère est la plus faible.

4.1. Variation des moyennes mensuelles du forçage radiatif des aérosols au nouveaux des six stations photométriques



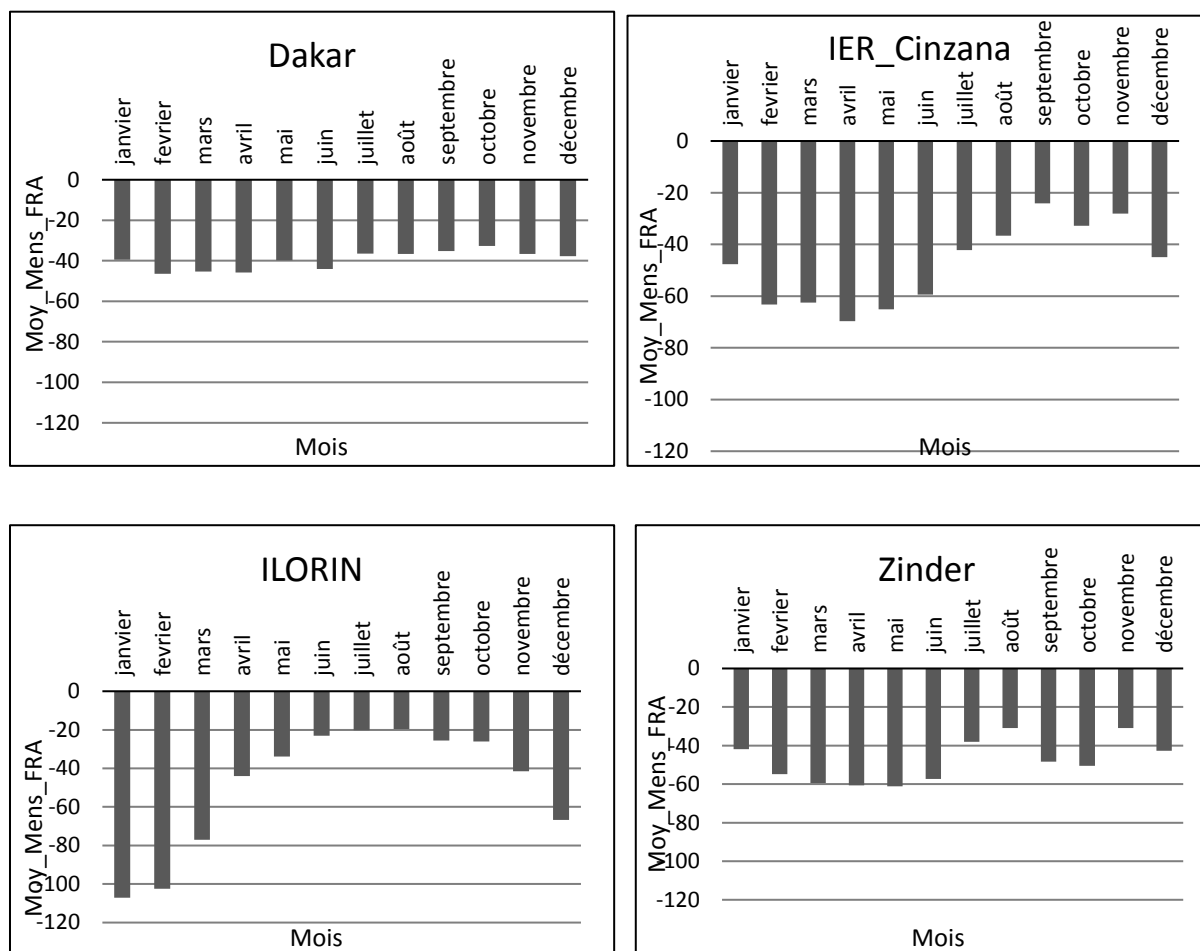


Figure 3 : Variation des moyennes journalières du forçage radiatif direct des aérosols des six stations photométriques

4.2. Moyennes annuelles du forçage radiatif des aérosols et leurs déviations standards aux niveaux des six stations photométriques

Les moyennes annuelles du forçage radiatif direct des aérosols avec leur déviation standard durant la période 2010 – 2019 aux niveaux des stations de Zinder, Ilorin, Banizoumbou, IER_Cinzana, Dakar et Cap-Vert sont données par les tableaux 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4, 4.2.5. et 4.2.6 ci-dessous. Au niveau de la station de Zinder, les moyennes annuelles du forçage radiatif des aérosols varient considérablement d'une année à une autre avec des valeurs importantes de déviations standards. Les moyennes annuelles varient de $-36,86 \text{ W.m}^{-2}$ à $-55,56 \text{ W.m}^{-2}$, ce qui indique que durant les années de la période considérée, les aérosols ont une tendance de refroidissement au système climatique local. À la station d'Ilorin les moyennes annuelles du forçage radiatif direct des aérosols présentent de larges variabilités d'une année à une autre et les déviations standards au cours d'une année sont aussi élevées. Les moyennes annuelles varient de $-42,87 \text{ W.m}^{-2}$ à $-75,37 \text{ W.m}^{-2}$, ce qui suggère que les aérosols ont tendance à induire aussi le refroidissement sur le climat à l'échelle locale. À la station de Banizoumbou, les moyennes annuelles du forçage

radiatif direct des aérosols varient de $-38,93 \text{ W.m}^{-2}$ à $-53,45 \text{ W.m}^{-2}$ et les déviations standards sont très élevées et varient d'une année à une autre. Les valeurs des moyennes annuelles sont aussi toutes négatives. Ceci indique que les aérosols ont tendance d'induire le refroidissement au système climatique local durant la période d'étude considérée 2010 – 2019. Au niveau de la station IER_Cinzana, les moyennes annuelles du forçage radiatif direct des aérosols varient de $-34,58 \text{ W.m}^{-2}$ à $-92,15 \text{ W.m}^{-2}$. Ce qui représente une variation annuelle importante avec des déviations standards aussi élevées. Ces résultats suggèrent que les aérosols ont tendance d'induire le refroidissement au système climatique local. À la station de Dakar, les moyennes annuelles du forçage radiatif direct varient de $-27,18 \text{ W.m}^{-2}$ à $-47,90 \text{ W.m}^{-2}$ avec des déviations standards peu élevées. Ce qui suggère une tendance de refroidissement introduite par les aérosols au climat durant la période considérée 2010 – 2019. À la station de Cap-Vert, les moyennes annuelles du forçage radiatif direct des aérosols varient d'une année à une autre et les valeurs, toutes négatives, sont comprises entre $-17,758 \text{ W.m}^{-2}$ à $-63,72 \text{ W.m}^{-2}$ avec des déviations standards assez élevées qui oscillent entre 4,55 et 34,05 durant la période d'étude 2010 – 2019. Ce qui

indique que les aérosols ont tendance d'introduire le refroidissement au système climatique local.

Tout comme les moyennes mensuelles, les moyennes annuelles du forçage radiatif des aérosols présentent des variabilités d'une année à une autre, lesquelles variabilités sont beaucoup plus considérables au

niveau des stations de Zinder, Ilorin, Banizoumbou, IER_Cinzana. En revanche, ces variabilités peu élevées aux stations de Dakar et de Cap-Vert. Les moyennes annuelles du forçage radiatif des aérosols révèlent que les aérosols atmosphériques ont une tendance globale d'introduire le refroidissement au climat au niveau des six stations photométriques.

Tableaux des moyennes mensuelles du forçage radiatif direct des aérosols avec leur déviation standard

Banizoumbou	Moy Ann FRA	σ FRA	Dakar	Moy Ann FRA	σ FRA
2010	-54,96	23,89	2010	-47,90	13,29
2011	-49,23	21,75	2011	-39,32	12,17
2012	-50,77	13,75	2012	-35,72	12,57
2013	-41,80	10,32	2013	-31,75	6,92
2014	-38,93	13,91	2014	-35,43	9,26
2015	-46,30	15,07	2015	-39,15	5,83
2016	-53,45	15,33	2016	-27,18	2,17
2017	-47,60	13,54	2017	-74,50	7,46
2018	-51,47	29,52	2018	-30,13	9,01
2019	-40,32	9,37	2019	-29,06	7,07
Cap-Vert	Moy Ann FRA	σ FRA	IER_Cinzana	Moy Ann FRA	σ FRA
2010	-34,68	11,79	2010	-62,20	19,66
2011	-16,42	4,55	2011	-44,37	21,42
2012	-20,98	5,94	2012	-44,90	25,38
2013	-20,12	6,29	2013	-34,58	12,74
2014	-22,28	7,12	2014	-39,09	15,48
2015	-24,15	11,43	2015	-92,15	21,60
2016	-23,24	8,01	2016	-49,42	16,15
2017	-63,72	34,05	2017	-44,20	27,01
2018	-17,75	11,96	2018	-36,92	14,52
2019			2019	-46,78	27,53
ILORIN	Moy Ann FRA	σ FRA			
2010	-	-	2010	-54,64	17,84
2011	-42,87	25,21	2011	-46,75	16,81
2012	-56,27	35,47	2012	-47,31	18,73
2013	-75,37	37,26	2013	-54,75	31,08
2014	-46,72	38,10	2014	-36,86	20,69
2015	-46,88	27,62	2015	-44,72	10,90
2016	-59,81	35,77	2016	-47,32	14,58
2017	-57,51	26,80	2017	-55,56	25,41
2018	-55,93	36,44	2018	-47,53	20,11
2019	-69,52	55,87	2019		
Zinder	Moy Ann FRA	σ FRA			

Conclusion

Cette étude a permis l'évaluation des effets radiatifs des aérosols en zone sahélienne de l'Afrique de

l'ouest à travers l'analyse du forçage radiatif des aérosols localement présents au niveau des six stations photométriques : Zinder, Ilorin,

Banizoumbou, IER_Cinzana, Dakar et Cap-Vert. Les paramètres radiatifs ainsi considérés sont les forçages radiatifs des aérosols au sommet et à la base de l'atmosphère. Le forçage radiatif direct des aérosols a été déterminé pour chaque station en faisant la différence du forçage radiatif à base de l'atmosphère à celle au sommet de l'atmosphère afin de faire une analyse statistique. L'étude a consisté en une évaluation statistique des moyennes mensuelles et annuelles du forçage radiatif direct des aérosols à l'aide des diagrammes et à l'établissement des tableaux des moyennes annuelles avec leurs déviations standards. Les résultats nous révèlent que les aérosols atmosphériques ont une tendance globale de refroidissement du système climatique dans les différentes localités au cours de cette dernière décennie (2010 – 2019). Ce résultat semble indiquer la prédominance des aérosols d'origines minérales, notamment les aérosols issus de la poussière désertique et des embruns marins. Ces aérosols semblent quasiment permanents dans la colonne atmosphérique des localités concernées. Maria José Granados et al., par mesure spectrale en courte et longue longueur d'onde, ont établi que les poussières minérale induisent un refroidissement au sommet et à la base de l'atmosphère en 2019.

Ibrahim A. et al., dans une étude menée sur l'estimation du Forçage Radiatif des aérosols atmosphériques à partir de la Télédétection passive à Oujda (Maroc) 2005 ont trouvé que les aérosols atmosphériques contribuent à un refroidissement de la surface de l'ordre de -10 W.m^{-2} en moyenne annuelle, avec des variations très importantes. Le forçage peut atteindre des valeurs extrêmement élevées pour les jours chargés de poussière (-80 W.m^{-2}).

Des résultats similaires sont obtenus par B. KORGU et al., dans une étude de simulation réalisée sur le forçage radiatif des aérosols à Ouagadougou en 2014. Ces résultats traduisent un refroidissement en surface pouvant atteindre -41 W/m^2 en Mars.

Il faut cependant noter que la prédominance des aérosols d'origines minérales révélée par notre résultat n'exclut pas la présence des aérosols dont le forçage radiatif induit un échauffement de l'atmosphère en raison des écarts types des moyennes annuelles du forçage radiatif des aérosols au niveau des six stations considérées. Il faut alors noter que les périodes où les moyennes mensuelles et annuelles du forçage radiatif direct sont moins considérables correspondent à des épisodes où les aérosols d'effet réchauffant sont localement générés. Il s'agit des aérosols issus de la combustion des biomasses principalement les aérosols provenant des feux de forêts et des activités socio-économiques comme les activités domestiques, le transport et l'agriculture dans les localités considérées.

Remerciements

J'adresse mes sincères remerciements à tout le personnel du réseau AERONET et singulièrement aux responsables (Principal Investigators) des six stations photométriques dont les données ont servi l'outil indispensable pour ce travail. Je tiens à remercier l'ensemble des équipes scientifiques des Enseignants Chercheurs du Laboratoire d'Optique, de Spectroscopie et des Sciences Atmosphériques (LOSSA) et du Centre de Calcul, de Modélisation et de Simulation (CCMS) de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université des Sciences des Techniques et des technologies de Bamako.

Références

- [1] María José Granados-Muñoz, Michael Sicard, Roberto Román, Jose Antonio Benavent-Oltra, Rubén Barragán, Gerard Brogniez, Cyrielle Denjean, Marc Mallet, Paola Formenti, Benjamín Torres et Lucas Alados-Arboledas, "Impact of mineral dust on shortwave and longwave radiation : evaluation of different vertically resolved parameterizations in 1-D radiative transfer computations," *Atmos. Chem. Phys.*, 19, 523–542, Janvier 2019.
- [2] María José Granados-Muñoz, Juan Antonio Bravo-Aranda, Darrel Baumgardner, Juan Luis Guerrero-Rascado, Daniel Pérez-Ramírez, Francisco Navas-Guzmán, Igor Veselovskii, Hassan Lyamani, Antonio Valenzuela, Francisco José Olmo, Gloria Titos, Javier Andrey, Anatoli Chaikovskiy, Oleg Dubovik, Manuel Gil-Ojeda, et Lucas Alados-Arboledas, "A comparative study of aerosol microphysical properties retrieved from ground-based remote sensing and aircraft in situ measurements during a Saharan dust event," *Atmos. Meas. Tech.*, 9, 1113–1133, doi:10.5194/amt-9-1113-2016, Mars 2016.
- [3] Paola Formenti, Lydie Mbemba Kabuiku, Isabelle Chiapello, Fabrice Ducos, François Dulac et Didier Tanré, "Aerosol optical properties derived from POLDER-3/PARASOL (2005–2013) over the western Mediterranean Sea – Part 1: Quality assessment with AERONET and in situ airborne observations," *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 6761–6784, 2018, <https://doi.org/10.5194/amt-11-6761-2018>, Décembre 2018
- [4] D. Tanré, F. M. Bréon, J. L. Deuzé, O. Dubovik, F. Ducos, P. François, P. Goloub, M. Herman, A. Lifermann, et F. Waquet, "Remote sensing of aerosols by using polarized, directional and spectral measurements within the A-Train : the PARASOL mission," *Atmos. Meas. Tech.*, 4, 1383–1395, 2011, doi:10.5194/amt-4-1383-2011, Avril 2011.
- [5] Daniela Meloni, Alcide di Sarra, Gérard Brogniez, Cyrielle Denjean, Lorenzo De Silvestri,

Tatiana Di Iorio, Paola Formenti, José L. Gómez-Amo, Julian Gröbner, Natalia Kouremeti, Giuliano Liuzzi, Marc Mallet, Giandomenico Pace, and Damiano M. Sferlazzo, “Determining the infrared radiative effects of Saharan dust : a radiative transfer modelling study based on vertically resolved measurements at Lampedusa,” *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 4377–4401, 2018, <https://doi.org/10.5194/acp-18-4377-2018>, MARRS 2018

[6] Dehia Belaidi, Philippe Goloub, Soltane Ameer, Thierry Podvin, Abdenour Ambar et Zohra Ameer, “Measurements of Aerosol Optical and Microphysical Properties in Tizi Ouzou,” doi: 10.4209/aaqr.2016.05.0177, 2017.

[7] F. Waquet, J.-C. Péré, F. Peers, P. Goloub, F. Ducos, F. Thieuleux et D. Tanré “Global detection of absorbing aerosols over the ocean in the red and near-infrared spectral region,” 10.1002/2016JD025163, Août 2016.

[8] G. L. Schuster, O. Dubovik, A. Arola, T. F. Eck, et B. N. Holben, “Remote sensing of soot carbon – Part 2: Understanding the absorption Ångström exponent,” *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 1587–1602, 2016, doi :10.5194/acp-16-1587-2016, Février 2016.

[9] Hamza Abderrahim, Augustin Mortier, Ahmed Hamou, “Caractérisation et modélisation des aérosols atmosphériques sahariens,” Janvier 2013.

[10] M. Mallet, F. Dulac, P. Formenti, P. Nabat, J. Sciare, G. Roberts, J. Pelon, G. Ancellet, D. Tanré, F. Parol, C. Denjean, G. Brogniez, A. di Sarra, L. Alados-Arboledas, J. Arndt, F. Auriol, L. Blarel, T. Bourriane, P. Chazette, S. Chevaillier, M. Claeys, B.

D’Anna, Y. Derimian, K. Desboeufs, T. Di Iorio, J.-F. Doussin, P. Durand, A. Féron, E. Freney, C. Gaimoz, P. Goloub, J. L. Gómez-Amo, M. J. Granados-Muñoz, N. Grand, E. Hamonou, I. Jankowiak, M. Jeannot, J.-F. Léon, M. Maillé, S. Mailler, D. Meloni, L. Menut, G. Momboisse, J. Nicolas, T. Podvin, V. Pont, G. Rea, J.-B. Renard, L. Roblou, K. Schepanski,

A. Schwarzenboeck, K. Sellegri, M. Sicard, F. Solmon, S. Somot, B. Torres, J. Totems, S. Triquet,

N. Verdier, C. Verwaerde, F. Waquet, J. Wenger, et P. Zapf. “Overview of the Chemistry-Aerosol Mediterranean Experiment/Aerosol Direct Radiative Forcing on the Mediterranean Climate (ChArMEx/ADRIMED) summer 2013 campaign,” *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 455–504, doi:10.5194/acp-16-455-2016, Janvier 2016.

[11] Toshihiko Takemura, Teruyuki Nakajima, Oleg Dubovik, Brent N. Holben, et Stefan Kinne, “Single-Scattering Albedo and Radiative Forcing of Various Aerosol Species with a Global Three-Dimensional Model,” Vol. 15, No. 4, Février 2002.

[12] Adrien Deroubaix, Cyrille Flamant, Laurent Menut, Guillaume Siour, Sylvain Mailler, Solène Turquety, Régis Briant, Dmitry Khvorostyanov, and Suzanne Crumeyrolle, “Interactions of atmospheric gases and aerosols with the monsoon dynamics over the Sudano-Guinean region during AMMA,”

Atmos. Chem. Phys., 18, 445–465, <https://doi.org/10.5194/acp-18-445-2018>, Janvier 2018.

Etude d'une centrale hybride (solaire – éolienne) : Cas de Nana Keniéba au Mali

Siragatou ONGOIBA^{1*}, Namory CAMARA¹, Bouréma Souleymane TRAORE¹, Abassi DIALLO²

¹Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Mali

²Agence des Energies Renouvelables

* Courriel de l'auteur de correspondance : siragatouongoiba@gmail.com

RÉSUMÉ: Au Mali, il y a une grande disparité entre le taux d'accès à l'électricité en milieu urbain et dans les zones rurales. Cependant, le faible taux d'accès dans les zones rurales constitue un frein à leur développement, d'où l'étude de faisabilité de la centrale hybride (Solaire /Eolienne) à Nana Keniéba dans la commune de Siby. Dans cette étude, le profil de charges est réparti en trois tranches temporelles sur vingt-quatre heures. Les puissances de charges et de décharges des batteries par les onduleurs, celles produites par les panneaux et par l'aérogénérateur ont été simulées par le logiciel HOMER.

Les résultats des simulations sont satisfaisants, malgré que le coût de l'investissement soit très élevé. Il ressort que la consommation énergétique annuelle qui était prévue pour 181 770 kWh/an est ramenée à 158 253 kWh/an, suite à l'optimisation du logiciel HOMER prenant en compte la simultanéité et les variations temporelles des charges. Pour assurer une électrification du village de Nana Keniéba durant toute l'année, à tout moment on envisage l'utilisation d'une centrale hybride (solaire-éolienne).

Mots-clés: Energie renouvelable, puissance éolienne, logiciel HOMER, batterie (Max 5 mots)

1. INTRODUCTION

L'énergie est un secteur à vocation économique et sociale, pourvoyeur de produits, de services et de commodités. Elle a un caractère éminemment transversal, en ce sens qu'elle est nécessaire à la plupart des secteurs du développement socio-économique. Aussi, elle ne peut être déconnectée des besoins de la population et de l'économie nationale, tant les services énergétiques contribuent de manière significative à toutes les activités humaines pour l'atteinte des meilleures conditions de vie, qu'il s'agisse de l'éducation, de la santé, de l'accès à l'eau potable et des activités génératrices de revenus. [1]. Au Mali, la production d'énergie est basée sur : l'exploitation des ressources forestières pour satisfaire aux besoins de cuisson et chauffages (78%), l'importation des produits pétroliers (17%) pour satisfaire aux besoins de transport et la production d'électricité (5%) [2]. Les contraintes économiques et environnementales liées à l'utilisation de ces formes d'énergies se sont avérées insoutenables face aux défis universels du développement durable. Cette situation entrave un meilleur accès au service énergétique moderne pour un grand nombre de la population malienne. En effet en 2014, le taux d'électrification était de 71% en milieu urbain, 17% en milieu rural et 34% au niveau national [2]. Par ailleurs, le village de Nana Keniéba ne dispose pas encore d'infrastructures énergétiques. Cette situation entrave le développement économique et social du village et favorise l'exode rural des jeunes vers les villes pour la recherche d'une meilleure vie. Notre pays dispose d'un fort potentiel en matière d'énergies renouvelables notamment le soleil, le vent, l'hydraulique et la biomasse. Le développement de ces formes d'énergies peut assurer l'indépendance énergétique de notre pays [2].

L'objectif général est de faire une étude de faisabilité d'une centrale hybride solaire photovoltaïque-éolienne pour le village de Nana Kénéba.

Les objectifs spécifiques sont :

- déterminer les besoins énergétiques du village de Nana Kenieba,
- dimensionner les composants de la centrale hybride,
- optimiser le fonctionnement de la centrale hybride.

2. MATERIEL ET METHODE

2.1 Matériel

Dans ce travail, le système hybride étudié combine deux sources de technologies (solaire et éolienne) en utilisant des batteries de stockage. Les composantes sont illustrées dans la figure ci-dessous :



Champ solaire

Regulateur de charge



Batterie

Aérogénérateur



Station de mesure du vent

Figure 1. Composantes de la centrale et la station

2.2 Méthodes

Nana Kenieba se situe dans la commune de Siby, cercle de Kati, région de Koulikoro. Ses coordonnées géographiques sont : Latitude : 12°482' N ; Longitude : 8°598' W ; Altitude : 421 m. Le village se trouve à 90km au Sud-ouest de Bamako. Il couvre une superficie de 47.65 km² environ. [3]

Au dernier recensement du RGPH de 2009-2010 la population était de 965 habitants ; sur la base du taux d'accroissement annuel de 3,3%, la population serait de 1251 habitants en 2018 répartie entre 156 ménages [4].

Pour évaluer les besoins énergétiques du village de Nana Kenieba, une enquête de quarante-cinq jours fut menée auprès des ménages, des services et infrastructures présents dans le village. Dans un premier temps, nous avons évalué la puissance à installer et l'énergie consommée par jour pour chaque type d'appareils, au niveau de chaque ménage, puis la consommation de l'ensemble des ménages du village. Ensuite, nous avons déterminé les mêmes paramètres pour chaque infrastructure et service en procédant de la même manière. Enfin, nous nous sommes servis des résultats des deux premières étapes pour déterminer la puissance à installer et le besoin énergétique journalier du village. Connaissant les horaires de fonctionnement de chaque type d'appareil, une répartition horaire des charges fut réalisée à chaque niveau de service énergétique et pour l'ensemble du village.

Le besoin énergétique journalier (B) correspond à l'énergie consommée par les habitants du village pendant une journée (en Wh ou kWh) et s'exprime par la relation suivante :

$$B = \sum_i N_i * P_{ui} * t_{mi} \quad (1)$$

N_i : nombre d'appareils de type i ;

P_{ui} : puissance unitaire de l'appareil de type i (W) ;

t_{mi} : temps moyen de fonctionnement journalier de l'appareil i (heure).

Le choix s'est porté sur le module de type « New Energy Eco 270Wc/ 24 V » grâce ses performances techniques. Par hypothèse la production solaire doit satisfaire 70% des besoins énergétiques du village de Nana Kenieba, soit 355.9 kWh/j.

La puissance crête (P_c) du générateur solaire photovoltaïque se détermine par la formule suivante :

$$P_c = \frac{B}{K * H_\beta} \quad (2)$$

B : Besoin énergétique (Wh) ;

H_β : Irradiation sur un plan incliné d'un angle β ;

K : 0,65 est le rendement global du système. Il tient compte de l'incertitude météorologique, de l'inclinaison non corrigée des cellules suivant la saison, du point de fonctionnement des modules, du rendement moyen charge/décharge de la batterie, du rendement du régulateur, des pertes dans les câbles et connexions pour les systèmes avec batterie.

Le nombre de module est :

$$N_m = \frac{P_c}{P_u} \quad (3)$$

P_c : Puissance crête du générateur (Wc) ;

P_u : Puissance unitaire du module choisi (Wc).

Le choix et le nombre des onduleurs reposent sur 3 critères : la compatibilité en tension, la compatibilité en courant et la compatibilité en puissance.

À partir de ces trois critères, notre choix s'est porté sur l'onduleur-réseau « SUNNY TRIPOWER 25000 TL ». Ces onduleurs ont une puissance nominale de 25 kW et de supporter le démarrage des charges [5].

$$N_r = \frac{P_c}{P_u} \quad (4)$$

Le choix des accumulateurs porte sur des caractéristiques importantes telles que : la capacité, la durée de vie et le type de batterie compatible avec l'installation.

La capacité des batteries est déterminée par la formule suivante :

$$C_{réelle \text{ en } (Ah)} = \frac{N_j * B}{D_p * \eta_b * V_b} \quad (5)$$

η_b : le rendement de la batterie ;

D_p : pourcentage de décharge profonde (0.7 à 0.8) ;

N_j : nombre de jours de décharge ;

V_b : la tension de travail des batteries en séries (V).

Il faut s'assurer que la décharge journalière (d_j) n'exécède pas 20 %. Par hypothèse, nous avons pris $N_j = 1$ jour.

$$C_{réelle \text{ en } (Ah)} = \frac{B * 1}{D_p * \eta_b * U} \quad (6)$$

En choisissant des batteries de capacités 3000Ah, 2V.

Le nombre de rangées de batteries à installer en parallèle est de :

$$N_{bp} = \frac{C_{réelle\ en\ (Ah)}}{C_u} \quad (7)$$

C_u : capacité unitaire de la batterie (Ah) ;
Le nombre de batteries à installer en série (N_{bs}) :

$$N_{bs} = \frac{T_{ab}}{T_{ub}} \quad (8)$$

T_{ab} : tension alimentation du système (V);
 T_{ub} : tension unitaire de la batterie (V);

Le nombre total de batteries à installer :

$$N_{bt} = N_{bp} * N_{bs} \quad (9)$$

En choisissant des onduleurs de 4,6 kW/230 V, alors le nombre d'onduleurs - chargeurs à installer est donné par cette relation :

$$N_{oc} = \frac{P_c}{P_u} * c' \quad (10)$$

N_{oc} : nombre d'onduleurs chargeurs ;
 P_c : Puissance de pointe P ;
 c' : marge de sécurité ;
 P_u : Puissance unitaire.

Le nombre d'aérogénérateur est obtenu par la relation suivante :

$$N_{éolien} = \frac{30\%Bea}{Pa} \quad (11)$$

Bea : besoins énergétiques annuels (kWh/an) ;
 Pa : Production annuelle d'un aérogénérateur (kWh/an) ;

Ainsi la production d'une éolienne est :

$$P_a = \sum_{V_d}^{V_a} P_i \times (8760 \times f_i)$$

P_a : Energie annuelle (Wh/an);
 P_i : Puissance à la vitesse i (W);
 f_i : Fréquence de la vitesse i (%);
 V_d : Vitesse de démarrage (m/s);
 V_a : vitesse d'arrêt (m/s).

Le logiciel « HOMER » est un logiciel de simulation et d'optimisation destiné à l'étude de l'installation de production d'énergie multi-sources (solaire photovoltaïque, éolien, réseau électrique, stockage dans les accumulateurs, groupe électrogène, etc.).

Ce logiciel fonctionne principalement à partir des données d'entrée fournies par l'utilisateur y compris les spécifications des technologies sélectionnées.



Figure 2. Interface de la sélection des équipements

III. RESULTATS

3.1 besoins énergétiques du village de Nana Kenieba

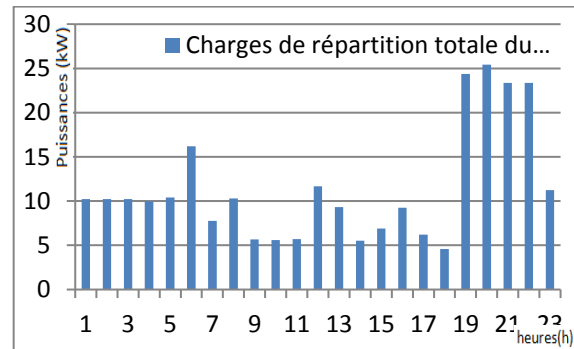


Figure 3. Histogramme de répartition des charges du village de Nana Kenieba en 2018 (Puissance en fonction de l'heure)

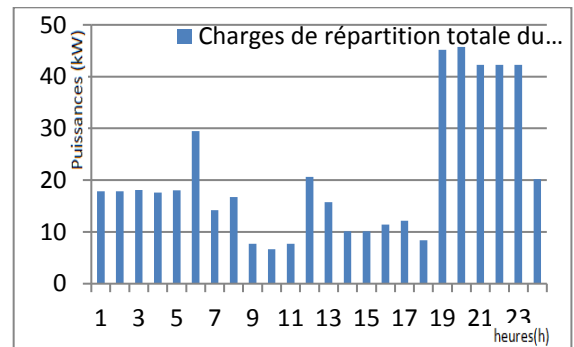


Figure 4. Histogramme des charges de répartition du village de Nana Kenieba en 2037.

Pour les Figures 3. et 4. la consommation est en deux parties, de 01h à 18h avec un pic à 06h et de 19h à 00h avec des pics de 19h à 23h.

Les besoins énergétiques journaliers du village sont estimés à 286.86kWh /j pour une puissance de pointe de 119.87kW de 19h à 23h en 2018 et à 508.44kWh/j.

Pour une puissance de pointe de 237.86kW de 19h à 23h en 2037.

La journée de 8h à 16h, on enregistre majoritairement des activités des services communautaires (écoles, centres de santé, etc.) et des activités économiques à

travers les points des centres de couture, de soudure et autres.

En 2037 nous avons deux parties qui sont de 01h à 18h dont la consommation est de 287.58kW et de 19h à 00h la consommation est de 227.86kW. Certains services, notamment le centre de santé, l'éclairage de certains points publics continuent de fonctionner jusqu'au matin.

Le pic de consommation à 06h est de 29.45 kW explique les préparations pour aller au travail.

L'énergie produite par an est obtenue en multipliant l'énergie produite par jour par 365.

Tableau 3. Hypothèse de répartition de la production d'énergie de la centrale hybride

Besoin énergétique	508.44 kWh/j		
Répartition de la charge	Pourcentage	Part d'énergie (kWh/j)	Part d'énergie (kWh/an)
Part éolienne	30%	152.5	55662.5
Part PV	70%	355.9	129903.5
Totale	100%	508.5	185 566

Les centrale éolienne et solaire photovoltaïque doivent produire respectivement une énergie de 152.5 kWh/j, soit 55662.5kWh/an et de 355.9 kWh/j, soit 129903.5 kWh/an.

Pour les raisons d'irrégularités de la vitesse du vent, nous avons jugé nécessaire de dimensionner la production d'énergie éolienne à 30% des besoins énergétiques et le reste par le solaire photovoltaïque compte tenu de l'abondance et la stabilité de sa source.

3.2 Dimensionnement des composants de la centrale hybride

Tableau 4. Puissances de pointes et énergies totales journaliers du village de Nana Kenieba

Désignation	Puissances de pointe en (kW)	Energies totales (kWh/j)
Ménages	228.52	466.737
Service de Santé, Atelier de soudure, Centre de couture	19.224	41.763

La puissance crête de la centrale photovoltaïque est 112.75 kW crête.

En choisissant des panneaux de 270Wc/24V [6],

Le nombre de modules (Nm) nécessaire pour la centrale photovoltaïque est 418modules.

Le nombre de l'onduleur-réseau est 5onduleurs.

Ainsi, le champ photovoltaïque est composé de :

nombre de sous champs : 5 ;
 nombre de chaines par sous champ : 3x2 ;
 nombre de modules par chaine : 14;
 nombre de modules par sous champ : 84 ;
 nombre total de modules : 420.

Nb : la puissance crête du champ sera donc de 113.4 kWc au lieu de 112.75 kWc trouvée par calcul lors du pré-dimensionnement.

La capacité de la batterie est égale à 13 220 Ah.

Le nombre total de batteries à installer est 96batteries de 2V-3000Ah.

Les douze (12) onduleurs- chargeurs sont branchés ensemble sur les batteries pour les charger.

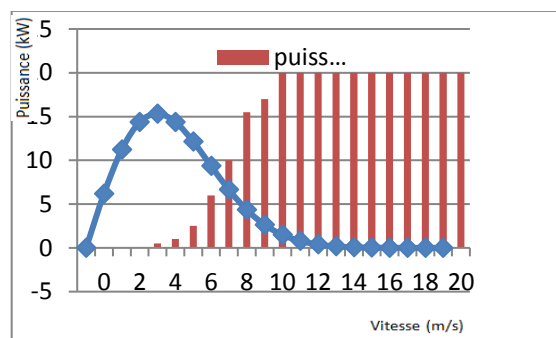


Figure 5. Fréquences de distribution de Weibull et de la courbe de puissance

L'aérogénérateur démarre à 3 m/s, la courbe de distribution atteint la fréquence maximale entre 3,5 m/s à 4 m/s, le maximum de vent est obtenu entre 3 m/s à 5 m/s et l'aérogénérateur prendra assez du temps pour produire de l'électricité.

Au-delà de 4 m/s la fréquence diminue progressivement puis s'annule à partir de 14 m/s.

La courbe de puissance augmente de 3 à 9 m/s, reste constante de 10 à 20 m/s et ce qui nous a permis de choisir l'aérogénérateur du type « AEOLOS », 20 kW.

La production de notre l'aérogénérateur type « AEOLOS », 20 kW est 45503 kWh/an.

Le nombre d'aérogénérateur de la centrale éolienne est un (01) de 20 KW.

Le choix de l'onduleur-éolienne s'est porté sur « ABB 1*TRIO-20.0-TL-ODU-W », avec une puissance nominale de 20 kW.

On branche un onduleur-éolien en parallèle qui a une puissance de 20kW.

L'aérogénérateur injecte sa production sur le réseau de distribution via l'onduleur éolien en parralle avec les onduleurs solaires réseaux.

3.2 Optimisation de la centrale hybride par HOMER

Tableau 5. Récapitulation du dimensionnement de la centrale hybride

Désignation	Puissance unitaire	Nom bres	Puissance totale
Aérogénérateur	20 kW /400 V	1	20 kW
Module photovoltaïque	270 Wc / 38.3 V	420	113.4kW c
Batterie	3 000 Ah /2 V	72	216000 Ah
Onduleur-éolienne	20 kW /400 V	1	20kW
Onduleur-réseau	25 kW /1000V	5	125 kW
Onduleur-chargeur	4,6 kW / 230 V	12	51 kW

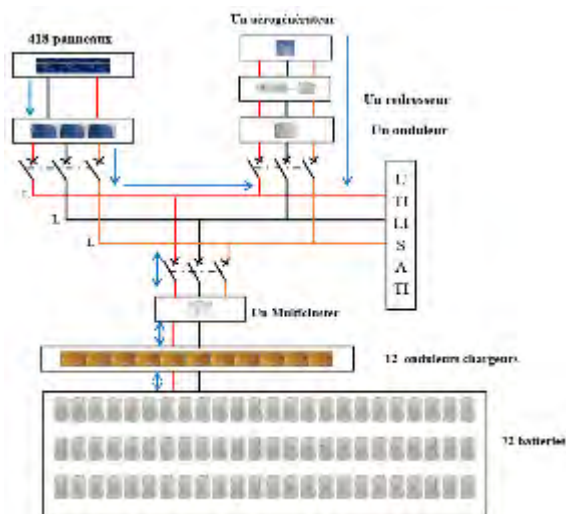


Figure 6. Schéma synoptique de la centrale hybride

Au niveau du multicluster, on a 12 onduleurs chargeurs pour les batteries connectées en système de 48 V formant 3 strings.

Au niveau de chaque onduleur réseau, on a 14 panneaux en série et trois (03) strings avec deux entrées libres pour chaque onduleur réseau.

On a un aérogénérateur et un onduleur-éolien de 20 kW.

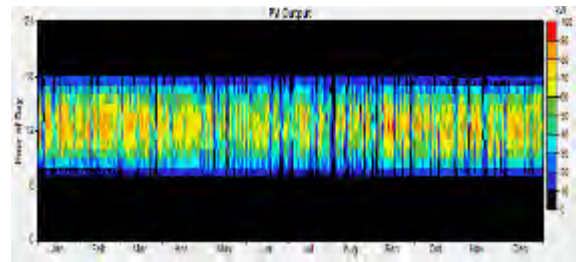


Figure 6. Quantité d'énergie totale quotidienne produite par le PV pendant une année

Les panneaux produisent de 8h à 17h et atteignent le maximum entre 11h à 14h voir Figure 6.

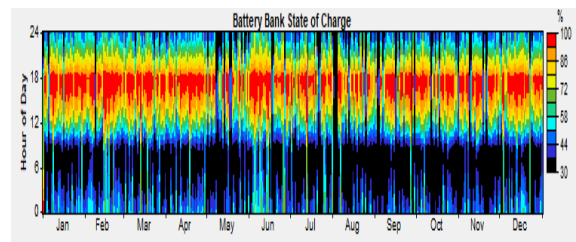


Figure 7. Utilisation de la charge des batteries pendant la période d'une année.

La batterie est partie un élément important pour notre système. Elle est chargée pendant la journée par le surplus solaire, son niveau de charge est compris entre (90 et 100%). L'aérogénérateur vient en complément au moment où le vent souffle. voir Figure 7.

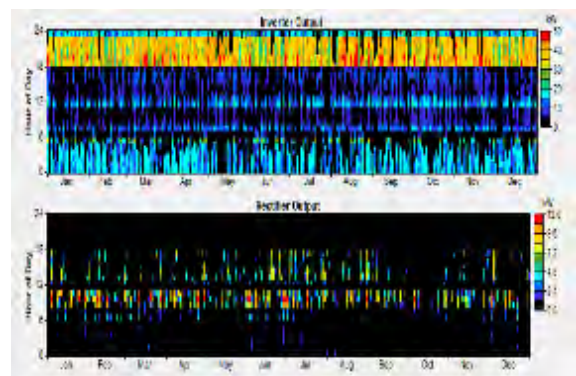


Figure 8. Le résultat de la simulation des onduleurs

Les onduleurs chargeurs donnent le maximum de 9h à 17h, le retour sur le réseau électrique se fait entre 18h et 24h avec une grande consommation et de 1h à 8h avec une faible consommation.

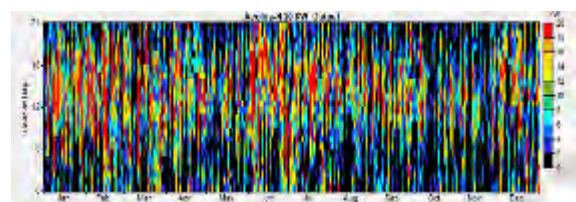


Figure 9. Quantité d'énergie totale quotidienne produite par l'éolienne pendant une année

L'aérogénérateur produit en tout moment de la journée (voir Figure.9)

Tableau 6. Tous les résultats optimisés des simulations

Primary Load 1 (kWh/d) 497													
Double click on a system below for simulation results.													
		PV (kW)	G20	H3000	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Batt. Lif (yr)	
		120.0			96	196	\$ 312,096	14,996	\$ 459,329	0.334	1.00	0.27	8.5
		113.4	1		72	196	\$ 314,723	15,436	\$ 466,271	0.300	1.00	0.16	6.9
		120.0	1		72	196	\$ 321,889	15,695	\$ 475,987	0.304	1.00	0.15	6.8
		120.0		120	196		\$ 332,772	14,666	\$ 476,764	0.343	1.00	0.26	10.5
		150.0			72	196	\$ 323,991	15,732	\$ 478,447	0.353	1.00	0.28	6.6
		130.0			96	196	\$ 322,953	15,955	\$ 479,803	0.331	1.00	0.22	7.9
		130.0	1		72	196	\$ 332,746	16,052	\$ 490,351	0.309	1.00	0.14	6.7
		113.4	1		96	196	\$ 335,399	16,065	\$ 493,131	0.298	1.00	0.09	8.3
		113.4	2		72	196	\$ 345,192	15,601	\$ 498,362	0.298	1.00	0.08	7.6
		130.0		120	196		\$ 343,629	15,781	\$ 498,573	0.336	1.00	0.19	9.6
		120.0	1		96	196	\$ 342,565	16,376	\$ 503,351	0.301	1.00	0.08	8.1
		120.0	2		72	196	\$ 352,358	15,790	\$ 507,385	0.303	1.00	0.07	7.5
		113.4	1	120	196		\$ 356,075	15,777	\$ 510,975	0.304	1.00	0.07	10.0
		150.0			96	196	\$ 344,667	17,311	\$ 514,632	0.333	1.00	0.15	7.3
		130.0	1		96	196	\$ 353,422	16,763	\$ 518,005	0.307	1.00	0.06	8.0
		150.0	1		72	196	\$ 354,460	16,729	\$ 518,703	0.322	1.00	0.12	6.5
		113.4	2		96	196	\$ 365,888	15,735	\$ 520,360	0.301	1.00	0.03	9.4
		130.0	2		72	196	\$ 363,215	16,067	\$ 520,959	0.309	1.00	0.07	7.5
		120.0	1	120	196		\$ 363,241	16,075	\$ 521,071	0.307	1.00	0.06	9.9
		120.0	2		96	196	\$ 373,034	15,923	\$ 529,371	0.305	1.00	0.03	9.3
		130.0	1	120	196		\$ 374,098	16,473	\$ 535,834	0.312	1.00	0.04	9.7
		150.0		120	196		\$ 365,343	17,434	\$ 536,516	0.335	1.00	0.12	8.7
		113.4	2	120	196		\$ 386,544	15,615	\$ 539,849	0.308	1.00	0.02	11.4
		130.0	2		96	196	\$ 383,891	16,197	\$ 542,913	0.311	1.00	0.03	9.3
		150.0	1		96	196	\$ 375,136	17,414	\$ 546,106	0.319	1.00	0.05	7.8

Nous avons choisi les deux premiers résultats que le logiciel trouve meilleur parmi tous les résultats optimisés.

Le logiciel donne plusieurs possibilités de composition de la centrale comme uniquement les panneaux ; les batteries ou les panneaux ; les aérogénérateurs et les batteries.

La dernière colonne du tableau de simulation nous renseigne sur donne la durée de vie des batteries.

IV. CONCLUSION

Pour assurer une électrification du village de Nana Kenieba durant toute l'année, à tout moment on envisage l'utilisation d'une centrale d'énergie hybride (solaire-éolienne). Si les générateurs hybrides proposent des solutions technologiques complexes comparées aux solutions courantes mono-sources, paradoxalement ils offrent une flexibilité incomparable, une souplesse de fonctionnement et un prix de revient attractif. Pour un développement écologique et économique, et pour une meilleure

complémentarité ; la combinaison choisie porte sur une centrale hybride composée de panneaux photovoltaïques, d'une éolienne et de batteries de stockage.

Les résultats de la simulation donnent des résultats attendus, malgré que le coût de l'investissement élevé durant la vie du projet, soit de 314 723\$US=176 244 880 FCFA comparer aux résultats de l'investissement théorique le montant était de 195 291 343 FCFA, qui explique le coût des 24 batteries retranchées par le logiciel HOMER lors de la simulation sur les 96 batteries. La consommation énergétique annuelle qui était prévue pour 181 770 kWh/an est ramenée à 158 253kWh/an. Par hypothèse nous avons prévu 30% des besoins énergétiques du village produit par l'aérogénérateur cela fut réduit à 26 % après l'optimisation du logiciel HOMER pendant les vingt ans.

REMERCIEMENTS

Je remercie profondément Dr Namory CAMARA pour sa disponibilité, ses conseils précieux, ses critiques constructives, ses explications et suggestions optimales. Au terme de ce travail, je voudrais adresser mes très chers remerciements à M. Ing Abassi DIALLO de l'AER-Mali et Dr Bouréma S. TRAORE.

Je remercie tout le corps professoral de la Faculté des Sciences et Techniques de Bamako et plus particulièrement, le Chef du Département de Physique et tous les professeurs de Physique.

Mes remerciements vont au Pr Abdramane BA et le Directeur de l'AER-Mali, Dr Ing Souleymane BERTHE pour leurs soutiens et leurs conseils.

REFERENCES

- [1] Ministère des Mines, de l'Energie et de l'Eau, *système d'information Énergétique du Mali, SIE-Mali*, Rapport 2014
- [2] Politique énergétique de la république du mali novembre, 2005
- [3] Météo-Blue
- [4] Population de Nana kenieba « *Source mairie de siby à travers le RGPH de 2009/2010* »
- [5] www.SunnyPortal.com
- [6] www.newenergyeco.com

Utilisation des batteries Lithium LiFePO₄ pour le stockage stationnaire d'électricité: Etude du cas de l'Afrique tropicale (Bénin)

Vincent PRODJINONTO¹, Oscar GODONOU^{2*}

¹Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquée, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi

²Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquée, Ecole Doctorale des Sciences de l'Ingénieur, Université d'Abomey-Calavi

*Courriel de l'auteur de correspondance : oscar.godonou@yahoo.com

RÉSUMÉ: Les batteries Lithium Fer Phosphate (LiFePO₄) sont issues d'une technologie plus ou moins récente et sont majoritairement fabriquées en Chine, en Corée du Sud et au Japon. Depuis plus d'une dizaine d'années, ces batteries LFP viennent remplacer les batteries au plomb qui ont connu un échec remarquable pour le stockage stationnaire d'électricité. Plusieurs études comparatives entre les différentes technologies de batteries utilisées pour le stockage stationnaire d'électricité, ont conduit à hisser la technologie des batteries LFP au meilleur rang. En effet, cette technologie est entièrement stable, sans risque d'incendie ou d'explosion et peu réaliser un très grand nombre de cycles. En Afrique, les batteries LFP alors sont de plus en plus utilisées et ceci sans une étude avancée permettant de valider puis d'améliorer le conditionnement et la durabilité de ces batteries LFP en considérant les réalités climatiques en Afrique. Le présent projet vient chercher des résultats statistiques concrets liés à l'utilisation des batteries LFP en région tropicale de même que les améliorations possibles pour améliorer leur durabilité.

Mots-clés : stockage stationnaire, batterie LiFePO₄, Afrique tropicale

1. INTRODUCTION

Au cours de cette dernière décennie, les sources d'énergies renouvelables ont été largement utilisées pour l'électrification des sites isolés, surtout en Afrique tropicale. Selon l'Agence Internationale des Energies Renouvelables, la consommation annuelle d'électricité en Afrique de l'Ouest pourrait quadrupler d'ici à 2030 atteignant alors 219 TWh par an, contre seulement 52,5 TWh en 2015 [1]. L'exploitation d'un système électrique à partir d'énergies renouvelables, telles que les énergies éolienne ou solaire, est souvent limitée par la nature variable et intermittente de ces énergies. Les principales énergies renouvelables (éolien, solaire) étant intermittentes, le fonctionnement de systèmes électriques avec une forte proportion d'énergies renouvelables ne sera possible que si l'électricité peut être stockée de façon efficace. Pour assurer la continuité dans la production de l'énergie, il est donc nécessaire d'utiliser des systèmes de stockage d'énergie [2]. L'une des solutions les plus éprouvées et efficaces de stockage d'énergie électrique est l'utilisation des batteries d'accumulation [3]. En effet, si plusieurs technologies de stockage électrique coexistent, avec des caractéristiques différentes plus ou moins adaptées aux différentes applications, la batterie est aujourd'hui la nouvelle technologie (c'est-à-dire hors les STEP) leader tant techniquement qu'économiquement pour la majorité des applications dont le stockage stationnaire.

Plusieurs études comparatives entre les différentes technologies de batteries utilisées pour le stockage stationnaire d'électricité, ont conduit à hisser de nos

jours la technologie **des batteries LiFePO₄** au meilleur rang [4]. Depuis plus d'une dizaine d'années, ces batteries LFP viennent remplacer progressivement les batteries au plomb qui ont connu un échec remarquable pour le stockage stationnaire d'électricité. Dans toute l'Afrique tropicale, et au Bénin en particulier, les batteries LFP alors sont de plus en plus utilisées et ceci sans des tests de vérification in-situ et une base de données statistiques adéquate. Pendant ce même temps, la technologie de ces batteries LFP subit des améliorations...

Le présent travail présente l'état de l'art sur la connaissance des batteries LFP ainsi que la méthodologie de la mise en place d'une base de données statistiques adéquate.

2. LES GENERALITES SUR LES BATTERIES AU LITHIUM

La naissance de la technologie des batteries au lithium date des années 1960. Cette technologie est basée sur les propriétés intéressantes du lithium. En effet, le lithium est un métal alcalin blanc argent, de symbole Li et de numéro atomique 3. Il possède les avantages suivants :

- Le lithium (Li) est le métal ayant le plus faible poids atomique (une masse molaire égale à 6,941 g/mol) dans le tableau périodique des éléments chimiques. Sa densité est la plus faible des métaux ($0,534 \text{ g/cm}^3$ à 20°C).
- En tant que matériau de stockage d'énergie électrochimique, le lithium a une capacité spécifique est très élevée (environ 3,8 Ah/g).

- Le lithium possède le plus faible potentiel d'électrode. Son potentiel standard (Li/Li^+) égal à $-3,045\text{ V}$, ce qui lui confère un caractère réducteur très prononcé. En associant ainsi le lithium à un oxydant, on peut disposer d'une force électromotrice supérieure à celle créée par la plupart des couples électrochimiques.

Tous ces avantages ont fait des batteries au lithium, l'objet de plusieurs recherches. Cela a conduit à conduit successivement à la mise place de plusieurs technologies de batteries au lithium, que nous présentons dans la suite...

2.1 Des batteries lithium métallique aux batteries lithium ion

Les premières batteries au lithium ont utilisé du lithium métallique comme matériau d'électrode négative. Cette idée d'utiliser le lithium métallique est née grâce au développement des batteries à électrode d'intercalation. Cela donne naissance, dans les années 1970 aux premières batteries lithium métal. Ces batteries possèdent :

- une électrode négative en lithium métallique,
- une électrode positive en un composé d'insertion tel que MoS_2
- un électrolyte organique contenant un sel de lithium.

Cependant, cette technologie a très rapidement révélé des problèmes de sécurité. En effet, au fil du temps, lors du fonctionnement cyclique de charge et de décharge batteries lithium métalliques, des filaments de lithium appelés dendrites se forment au niveau de l'électrode négative. Ces dendrites finissent par toucher l'électrode positive, provoquant ainsi un court-circuit et dans certains cas, l'explosion de la batterie.

Face à ce problème, deux solutions principales pour la sécurité furent développées : la technologie lithium-polymère (Li-Po) et la technologie Li-ion.

Les batteries Li-Po sont pratiquement identiques aux batteries lithium métallique. En effet, les électrodes ne changent pas et l'anode en métal est conservée. L'électrolyte liquide est quant à lui remplacé par un électrolyte polymère qui limite fortement la formation de dendrites mais qui a le désavantage de limiter la mobilité des ions lithium d'une électrode à l'autre et donc l'énergie spécifique de la batterie.

La technologie Li-ion, quant - à elle, consiste à remplacer le lithium métallique par un matériau dont la structure permet l'insertion et la désinsertion des ions lithium. [4].

2.2 Etat de l'art sur les batteries lithium-ion

2.2.1 Le principe de fonctionnement d'une batterie Li-ion

La figure 1 suivante, illustre les principaux constituants d'une cellule Li-ion. On distingue deux électrodes, une positive et l'autre négative. Ces électrodes présentent une différence de potentiel globale qui est fonction de la nature chimique des deux matériaux d'électrode. Chaque électrode comporte un support servant de collecteur métallique de courant, le plus souvent un collecteur en aluminium pour l'électrode positive et un collecteur en cuivre pour l'électrode négative. L'électrode est composée de matières actives ($> 80\%$), d'un percolant électronique (noir de carbone) et d'un liant polymère. Les collecteurs métalliques sont reliés à un circuit extérieur, leur rôle étant d'assurer la circulation des électrons. Il faut noter qu'un séparateur est disposé entre les deux électrodes afin d'éviter un court-circuit interne. Il s'agit d'une membrane poreuse, dont le rôle est de permettre le passage des ions entre les deux électrodes sans pour autant permettre une conduction électronique. Les deux électrodes baignent dans un électrolyte dont la conductivité ionique est élevée pour faciliter le déplacement des ions Li^+ .

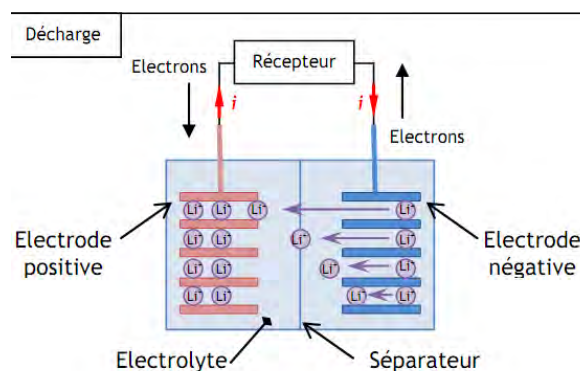


Figure 1 : Constitution d'une cellule Li-ion et circulation des électrons et ions lithium pendant la décharge

Le fonctionnement de la cellule Li-ion repose sur deux différentes réactions :

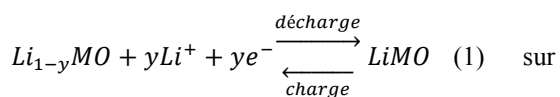
- les réactions électrochimiques d'oxydoréduction qui ont lieu au niveau des matières actives des électrodes
- la réaction de chimie de solide, dite d'insertion/désinsertion, dans laquelle les ions Li^+ ayant un diamètre très petit, prennent place dans la structure cristalline hôte des deux électrodes.

Durant la décharge de la batterie Li-ion, l'ion Li^+ quitte l'électrode négative qui libère aussi un électron afin d'assurer sa neutralité électrique. Cet électron sera capturé par le collecteur en aluminium de l'électrode positive après avoir circulé dans le circuit externe comportant les charges ou récepteurs électriques à alimenter. Quant- à l'ion Li^+ , il migre dans l'électrolyte, traverse le séparateur et atteint la surface de l'électrode positive où il diffuse pour

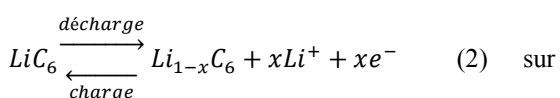
s'insérer sur un site actif vacant dans la structure hôte. Il se recombina ensuite avec un électron qui a traversé successivement le collecteur en cuivre de de l'électrode négative, le circuit externe et le collecteur en aluminium de l'électrode positive.

Pendant la charge de la batterie Li-ion, le processus s'inverse. La batterie à une force électromotrice externe. Cela impose de déplacement de l'ion Li^+ qui quitte l'électrode positive vers l'électrode négative. L'électrode positive libère aussi un électron afin d'assurer sa neutralité électrique. Cet électron sera capturé par le collecteur en cuivre de l'électrode négative après avoir circulé dans le circuit externe. Quant- à l'ion Li^+ , il migre dans l'électrolyte, traverse le séparateur et atteint la surface de l'électrode négative où il diffuse pour s'insérer sur un site actif vacant dans la structure hôte. Il se recombina ensuite avec un électron qui a traversé successivement le collecteur en aluminium de l'électrode positive, le circuit externe et le collecteur en cuivre de de l'électrode négative.

Les réactions d'oxydoréduction correspondants à ces différents processus sont :



l'électrode positive (cathode)



l'électrode négative (anode)

2.2.2 Les différentes technologies des batteries lithium-ion

Afin d'améliorer les performances des batteries Li-ion, en termes de puissance, d'énergie emmagasinée, de durée de vie, de coût, et de sécurité/fiabilité d'usage, une multitude de travaux de recherche [5-8] ont été menés et se poursuivent. La majorité des travaux de recherche suivent deux principaux axes parallèles. Il s'agit d'une part du développement des matériaux d'insertion qui entrent dans la constitution de la batterie (l'électrode négative, l'électrode positive, l'électrolyte et le séparateur) et d'autre part, de l'optimisation et du choix des combinaisons les plus adéquates permettant l'amélioration des performances des batteries Li-ion. Le développement des matériaux d'insertion des batteries Li-ion pour but d'accroître la différence de potentiel entre l'électrode positive et la négative, ceci est en vue d'accroître l'énergie. De nombreux travaux de recherche visent à optimiser ces matériaux d'insertion. La majorité de ces travaux porte sur les matériaux de l'électrode positive, en raison d'une part de la faible contribution du matériau de l'électrode négative standard (à base de carbone) au coût total de la conception d'une cellule, et d'autre

part de l'influence importante des matériaux de l'électrode positive sur la durée de vie et sur les performances des batteries Li-ion [9]. Il convient toutefois de noter que de nouveaux travaux tentent de redonner un avenir à l'électrode négative en lithium métal pour le développement de batteries rechargeables [10].

2.2.2.1 Matériaux d'insertion de l'électrode négative

Pour pallier les problèmes de sécurité rencontrés dans les batteries lithium métallique, une des solutions a consisté à substituer au niveau de l'électrode négative, le lithium métallique par d'autres matériaux d'insertion. Ainsi, ces matériaux avoir un potentiel standard le plus proche possible de celui du lithium. Robert et al . [11] d'une part et Badin et al. [12] d'autre part, ont réfléchi sur la question. Ils ont testé différents matériaux pour le remplacement du lithium métal au niveau de l'électrode négative. Le tableau 1 suivant résume les résultats obtenus :

Tableau 1. Matériaux d'insertion pour électrode négative [11,12]

Matériau	Différence entre le potentiel standard du matériau et celui du Lithium (V)	Capacité spécifique théorique (mAh/g)
Li métallique	0	3800
LiC ₆ (graphite)	0,02 à 0,3	372
Li _{0.05} C ₆ (coke)	0,2 à 1,3	185
Li-Al	0,2	800
Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ (LTO)	1,5	175
LiWO ₂	0,3 à 1,4	120
LiMoO ₂	0,8 à 1,4	199
LiTiS ₂	1,5 à 2,7	226

Ces résultats de Badin et al . permettent de hisser le graphite au meilleur rang pour le choix du matériaux de substitution du lithium métal à l'électrode négative. Toutefois, la capacité spécifique théorique du graphite est légèrement plus faible.

En plus du fait d'avoir un potentiel standard le plus proche possible de celui du lithium, les matériaux d'insertion de l'électrode négative doivent permettre la lithiation et la délithiation avec un changement de volume le plus restreint. Trois différents matériaux ont été testé pour le remplacement du lithium métal au niveau de l'électrode négative. Le tableau 2 suivant résume les résultats obtenus.

Tableau 2. Changement de volume de l'électrode négative [13]

Matériau	Pourcentage du changement de volume lors d'une charge complète de la batterie
Si	270 %
LiC ₆ (graphite)	10 %
Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ (LTO)	0,2 %

2.2.2.2 Matériaux d'insertion de l'électrode positive

Plusieurs travaux de recherche se sont consacrés au développement de nouveau matériau d'insertion à l'électrode positive des batteries Li-ion. Les matériaux d'insertion développés pour l'électrode positive peuvent être rangés en quatre groupes suivant leur structure cristalline. Le tableau 3 suivant présentent ces différents groupes de matériaux.

Tableau 3. Présentation des matériaux d'insertion de l'électrode positive : [13]

Groupe ou structure cristalline	Matériau d'insertion de l'électrode positive	capacité spécifique (mAh/g)		f.e.m (V)	Nombre de cycles de vie	Niveau du développement
		théorique	expérimental			
en couche 2D	LiTiS ₂ (LTS)	225	210	1,9	300-600	Commercialisé
	LiCoO ₂ (LCO)	274	148	3,8	500 - 1000	
	LiNiO ₂ (LNO)	275	150	3,8	300 - 600	Recherche en laboratoire
	LiMnO ₂ (LMO)	285	140	3,3	300 - 700	
	LiNi _{0,33} Mn _{0,33} Co _{0,33} O ₂ (NMC)	280	160	3,7	1000-3000	Commercialisé
	LiNi _{0,8} Co _{0,15} Al _{0,05} O ₂ (NCA)	279	199	3,7	500	
en spinelle 3D : oxydes sous forme LiM ₂ O ₄ (M : métal)	Li ₂ MnO ₃	458	180	3,8	-	Recherche en laboratoire
	LiMn ₂ O ₄ (LMO)	148	120	4,1	300-700	Commercialisé
olivines de structure 3D sous forme LiMPO ₄ (M : métal)	LiCo ₂ O ₄	142	84	4,0	-	Recherche en laboratoire
	LiFePO ₄ (LFP)	170	165	3,4	1000-2000	Commercialisé
	LiMnPO ₄ (LMP)	171	168	3,8	-	
	LiCoPO ₄ (LCP)	167	125	4,2	-	Recherche en laboratoire
LiNiPO ₄ (LCP)	-	-	-	-		
structure favorite	LiFeSO ₄ F	151	120	3,7	-	Recherche en laboratoire
	LiVPO ₄ F	156	129	4,2	-	

La figure 2 suivante présente la synthèse des associations possibles entre les électrodes positives et négatives selon leurs compositions. Les électrodes sont classées selon leur capacité spécifique

(axe des abscisses) et le potentiel relatif par rapport au couple Li/Li⁺ (axe des ordonnées).

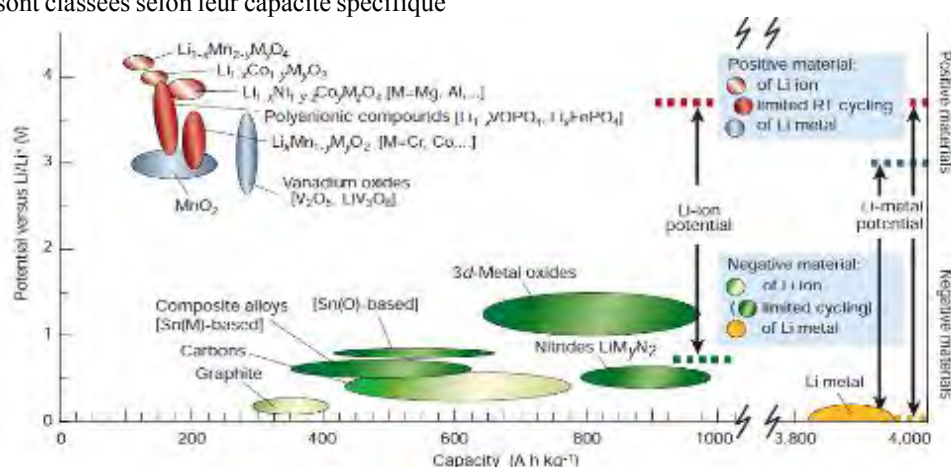


Figure 2: Matériaux d'électrodes positives et négatives des batteries au lithium [4]

Cette figure montre que la capacité spécifique des électrodes positives est inférieure à celle des électrodes négatives. La capacité spécifique de l'accumulateur est donc limitée par celle de

l'électrode positive. Le choix de l'électrode négative par les constructeurs n'est donc pas lié à la capacité spécifique, mais il se base plutôt sur des critères économiques et de sécurité. C'est pour cela que les

électrodes négatives sont souvent à base de graphites ou de carbone, malgré leur faible niveau de capacité spécifique.

2.2.2.3 L'état de l'art sur l'électrolyte

Les travaux de recherche sur le développement de l'électrolyte des batteries Li-ion, se sont basés sur certains critères bien précis. En effet, il faut tenir compte :

- de la conductivité ionique des ions Li^+ : l'électrolyte doit permettre une bonne circulation des ions Li^+ entre les deux électrodes ;
- de la stabilité thermique : l'électrolyte doit être thermiquement stable afin d'éviter un emballement thermique qui a lieu lorsque la batterie est soumise à des conditions de températures relativement élevées
- de la stabilité chimique : l'électrolyte doit être compatible avec les différents composants d'une cellule afin d'éviter la dégradation des matières actives des électrodes ;
- de la stabilité électrochimique : l'électrolyte ne doit pas provoquer une réaction de décomposition dans la plage de potentiel de fonctionnement de la cellule ;
- de la toxicité : l'électrolyte doit être le moins toxique possible afin de limiter les dommages en cas de fuite, de décomposition ou de recyclage de la batterie
- du coût et de la disponibilité des constituants : L'électrolyte doit être conçu avec des éléments disponibles et accessibles ; et doit revenir à un coût relativement moins cher

Dans les batteries Li-ion à électrolyte liquide, l'électrolyte est souvent constitué d'un sel, généralement du hexafluorophosphate de lithium $LiPF_6$, dissous dans un mélange de solvants organiques appartenant le plus souvent à la famille des carbonates d'alkyles linéaires (carbonates de méthyle ou d'éthyle par exemple) ou cycliques (carbonates d'éthylène ou de propylène) [7]. Ces solvants sont utilisés en mélange binaire ou ternaire de façon à optimiser le domaine de conductivité sur le plus grand intervalle de température possible [14].

Il faut noter qu'il existe d'autres types d'électrolyte, sous forme solide ou gélifiée. Ce type d'électrolyte présente une difficulté d'imprégnation de l'électrode poreuse, d'où l'idée d'utiliser des copolymères dont la structure permet l'absorption d'un volume important de liquide, ce qui est en effet nécessaire pour une bonne mouillabilité de l'électrode [15]. Des travaux de recherche récents visent également à mettre au point des électrolytes utilisant des liquides ioniques pour obtenir une bonne stabilité électrochimique. Quant à leur stabilité thermique, elle reste à évaluer au cas par cas, en particulier dans des conditions abusives [16,17].

2.2.2.4 Etat de l'art sur le séparateur

Le séparateur est un film microporeux généralement en polyéthylène (PE) et/ou en polypropylène (PP). Il constitue une barrière physique et électrique entre les deux électrodes et se doit donc d'être un bon isolant électrique. Il est important de notifier que le séparateur ne doit pas provoquer une réaction chimique avec un constituant quelconque de la batterie. De même, il n'intervient pas dans les mécanismes de transport ionique. Toutefois, il doit être poreux et mouillable par l'électrolyte afin de permettre sa libre circulation et assurer ainsi un bon acheminement des ions Li^+ . Le séparateur joue aussi un rôle important dans la sécurité des batteries Li-ion.

2.3 La sécurité des batteries Li ion :

La sécurité des batteries Li-ion présente un enjeu technique et sociétal très important. Elle constitue alors un aspect prioritaire à prendre en considération dans toutes recherches liées aux batteries Li-ion. Au cours de ces dernières années, de nombreux travaux de recherche se sont focalisés sur la maîtrise de la sécurité des batteries Li-ion. Il en ressort que les le facteur principal permettant d'améliorer la sécurité intrinsèque des batteries Li-ion sont le choix optimal des matériaux qui entrent dans la constitution du séparateur, de l'électrolyte, de l'électrode négative et de l'électrode positive.

De plus, les travaux de recherche sur la problématique de la sécurité des batterie Li-ion ont permis le développement de plusieurs dispositifs passifs ou actifs à intégrer dans la batterie Li-ion. Ces dispositifs annexes ont pour rôle d'augmenter la sécurité des batteries Li-ion notamment en cas de fonctionnement extrême ou abusif. Leur principal inconvénient est qu'ils provoquent la réduction des performances de la batterie.

2.3.1 Au niveau de la cellule

Au niveau de la cellule, parmi ces dispositifs internes de protection on peut citer [18,19] :

- le PTC ou coefficient de température positif : c'est un dispositif en forme d'anneau, constitué du polyéthylène laminé avec un métal. En cas de surcharge, la température à l'intérieur de la batterie augmente, et le polyéthylène s'échauffe puis change de phase. Cela augmente sa résistance électrique ; ce qui limite ainsi le passage du courant.
- Le CID ou "current interruption device" : C'est un dispositif qui coupe la circulation du courant lorsque la pression du gaz dans la cellule dépasse les limites spécifiées.
- le système d'arrêt dit « shutdown » ou « coupe circuit » : C'est une technologie intégrée aux séparateur à trois couches PP-PE-PP et qui empêche les courants élevés. En effet, en de surcharge ou d'une utilisation abusive de la batterie, la température à l'intérieur de celle-ci .

S'en suit, la fusion du PE qui bouche les pores du séparateur, bloquant ainsi la circulation de l'électrolyte et le transport des ions Li^+ . Cela limite la propagation de l'instabilité thermique et améliore ainsi la sécurité de la batterie. Rappelons que la couche PP possède un point de fusion plus haut que celui du PE ; ce qui assure le maintien des propriétés mécaniques du séparateur. [20]

- l'évent : c'est un dispositif qui protège la cellule contre l'explosion. Il est constitué d'un système de soupape qui s'ouvre lorsque la pression augmente brutalement, et dès que celle-ci dépasse une pression critique déterminée généralement à 3448 kPa [21]
- *le fusible thermique* : C'est un organe coupe le courant dès lors que la température dans la cellule devient trop élevée. Il est généralement rencontré dans les cellules de grande capacité.

2.3.2 Au niveau des modules et des packs de batteries

A ce niveau, un dispositif complexe est intégré : c'est le système de gestion de la batterie, encore connu sous le terme « Battery System Management » ou BMS. Le BMS protège la batterie en l'empêchant de fonctionner en dehors de sa plage de fonctionnement typique. Il protège ainsi la batterie en cas de surintensité, de surtension lors du chargement, de la sous-tension lors de la décharge, de la surchauffe et du sous refroidissement.

Le BMS contribue donc à garder la batterie dans un état de fonctionnement optimal car il est conçu pour gérer et contrôler différentes fonctions, parmi lesquelles : l'acquisition et la communication de mesures au travers d'un bus de communication, la protection des cellules, le contrôle de la charge, l'équilibrage des cellules, la détermination de l'état de santé (SOH), la détermination de l'état de charge (SOC) et la gestion optimale de l'énergie, [12]

En outre, diverses stratégies de gestion thermique sont proposées en 2013 par Hamut et al. pour optimiser les systèmes de refroidissement intégré et permettre au pack de batteries de fonctionner à une température ambiante cible et d'assurer une homogénéité de la température des cellules. Le système de gestion thermique doit donc être capable

de réagir, et de manière très précise, si un gradient de température est observé au niveau des cellules le constituant. [22]

3. ETAT DES LIEUX SUR LES BATTERIES LFP

A travers la première partie de ce document, nous avons montré que les batteries LFP font parties de la grande famille des batteries Li-ion. Elles sont issues d'une technologie récente. Depuis plus d'une dizaine d'années, ces batteries LFP viennent remplacer progressivement les batteries au plomb qui ont connu un échec remarquable pour le stockage stationnaire d'électricité.

3.1 Applications des batteries LFP pour le stockage stationnaire

Dans le monde en général et au Bénin, en particulier, on rencontre les batteries LFP dans plusieurs systèmes ou équipements. Le tableau 4 suivant présente les principales applications de ces batteries...

3.2 Quelques données statistiques

La figure 3 suivante présente la répartition de la capacité de batteries stationnaires installées par type de technologie dans le monde en 2017

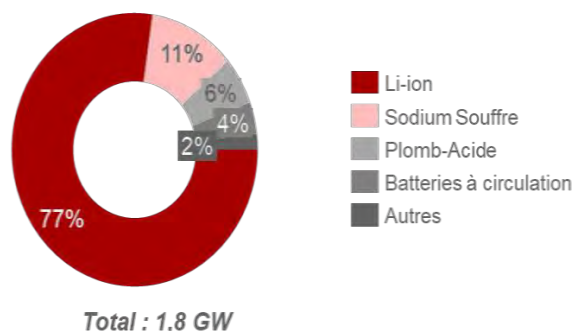


Figure 3. Répartition de la capacité de batteries stationnaires installées par type de technologie dans le monde en 2017 [23]

D'après cette répartition, en 2016, 77% de la capacité des batteries installées pour le stockage stationnaire d'électricité dans le monde est de la technologie Li-ion. Cependant, à l'échelle nationale, aucune donnée statistique n'est disponible jusqu'à ce jour.

Tableau 4. Principales applications des batteries LFP

Application des batteries LFP		Description de l'application / la valeur du stockage	Utilisateurs de cette application des batteries LFP	Exemples de systèmes	Etat actuel de cette application au Bénin
Domaine de l'application	Sous-domaine de l'application				
Optimisation de la production et de la	Optimisation du profil de production des	Utilisation des batteries LFP pour lisser la production des énergies renouvelables intermittentes	développeurs énergies renouvelables	centrales solaires	déjà utilisé et en pleine expansion

consommation d'énergie électrique	énergies renouvelables	(solaires, éolien) et améliorer l'intégration de celles-ci au système électrique	autoconsommateurs résidentiels, tertiaires et industriels	systèmes solaires domestiques et kits solaires	
	Optimisation du profil de consommation à la maille du consommateur	Utilisation des batteries LFP pour optimiser le profil de consommation en lissant la consommation (éviter les pics) afin de diminuer la facture électrique	consommateurs résidentiels, tertiaires et industriels	alimentations sans interruption	déjà utilisé et en pleine expansion
Sécurité, d'approvisionnement, d'UPS et back-up	continuité Systèmes	Utilisation de l'énergie stockée dans les batteries LFP, en tant que source d'électricité de secours en cas de coupure de courant, de discontinuité de l'alimentation du réseau ou en remplacement des groupes électrogènes	Consommateurs résidentiels, tertiaires et industriels	alimentations sans interruption : Systèmes d'UPS et back-up	déjà utilisé et en pleine expansion
Arbitrage temporel sur les marchés		Utilisation des batteries LFP pour équilibrer l'offre et la demande à l'échelle du système électrique en valorisant lors de périodes de prix élevés (forte demande) la production stockée et lors de périodes de prix faibles (correspondant aux périodes de faible consommation)	Acteurs de marché d'énergie électrique : producteurs, fournisseurs, distributeurs, agrégateurs, etc.	Convertisseurs AC/DC et DC/AC	pas encore utilisé
Valorisation du stockage au niveau des gestionnaires de réseaux électriques		Equilibrage à court terme : utilisation des batteries LFP pour gérer les déséquilibres court-terme sur le réseau électrique ; Report d'investissement dans le réseau : utilisation des batteries LFP pour éviter ou repousser les investissements dans de nouvelles lignes en lissant la demande locale	Gestionnaires de réseaux électriques	Centrales électriques	pas encore utilisé

3.3 Le futur des batteries Li-ion

Pour dépasser les limites actuelles imposées par les performances actuelles des batteries LFP en particulier et Li-ion en particulier, des ruptures technologiques sont en cours à travers le développement d'autres technologies telles que les batteries Zn-Air, Li-S, Li-Air, Graphène. Ainsi, au-delà de la technologie lithium-ion, trois principales catégories se démarquent :

- Les batteries à état solide : ces batteries utilisent un électrolyte solide et proposent une densité énergétique plus importante
- Les batteries lithium-Air (Li/O₂) et lithium-soufre (Li/S) : cette association permet une densité énergétique plus importante mais est pour l'instant limitée par une longévité insatisfaisante (50 cycles pour le Li/O₂ avec une capacité

spécifique de 2000 mAh/g et 100 cycles pour le Li/O₂ avec une capacité spécifique de 1000 mAh/g)

- Les batteries sans lithium : le lithium, bien que possédant des avantages en termes de taille et de capacité spécifique, est un élément dont les ressources sont limitées et désormais difficiles d'accès. Son coût est donc relativement élevé. De plus, des problèmes de sécurité liés aux batteries Li-ion subsistent [24]. Pour éviter ces problèmes, d'autres éléments plus abondants sont envisagés tel que le sodium (Na), le magnésium (Mg), le potassium (K) ou encore le calcium (Ca) et l'aluminium (Al) . Si certains systèmes sont encore peu développés comme les batteries K-ion, Ca-ion et Al-ion, d'autres comme les batteries Na-ion [25,26] et Mg-ion [24,25,27] commencent à se développer de façon

industrielle. Par les nouvelles technologies des batteries sans lithium, on retrouve également :

- ❖ les batteries Zn-air qui sont pour l'instant limitée par le nombre de cycles de vie.
- ❖ les batteries au graphène qui présentent des performances supérieures au lithium-ion et suscitent l'intérêt des chercheurs

4. METHODOLOGIE DE LA MISE EN PLACE D'UNE BASE DE DONNEES STATISTIQUES ADEQUATE

Afin de mettre en place d'une base de données statistiques adéquate sur l'utilisation des batteries LFP en Afrique, une plateforme a été élaborée et mise en ligne depuis le 13 Avril 2021 à l'adresse⁵⁰ ci-dessous. Ladite plateforme comporte un questionnaire dûment élaboré qui fait office d'enquête en ligne.

Parallèlement, une enquête in-situ doit se faire auprès des consommateurs résidentiels (ménages), tertiaires et industriels, des acteurs de marché d'énergie électrique (producteurs, fournisseurs, distributeurs, agrégateurs, etc.). Malheureusement, compte tenu des ressources nécessaires pour le déploiement d'une telle enquête et aussi du contexte socio-sanitaire actuel lié au COVID 19, cette enquête n'a pas été encore lancée jusqu'à ce jour...

Après cette phase de collecte, s'en suit celle de traitement des données qui permettra d'élaborer base de données statistiques et d'étudier les scénarios d'évolution de ces données statistiques dans le temps.

5. CONCLUSION

Afin de remédier aux défis de disponibilité, de prix et des impacts environnementaux, les énergies renouvelables (solaire, éolienne, hydroélectrique...) occupent de plus en plus la place principale dans le mix énergétique mondial. Toutefois, l'intermittence de ces sources d'énergie présente un défi d'approvisionnement continu en énergie, de sorte qu'un réservoir d'énergie est nécessaire pour garantir un approvisionnement continu en énergie produite. Le stockage stationnaire de l'énergie est donc devenu un enjeu mondial et un défi majeur.

Parmi les technologies actuellement utilisées pour le stockage stationnaire d'énergie, nous retrouvons celle des **batteries LiFePO₄**. Ces dernières sont de plus en plus répandues en Afrique tropicale, et au Bénin en particulier. Elles sont utilisées dans plusieurs systèmes tels que : les centrales solaires, les systèmes solaires photovoltaïques domestiques, les kits solaires, les alimentations sans interruption, ...

Dans ce document, nous avons présenté l'état de l'art sur la connaissance des batteries au lithium, depuis les batteries lithium métal jusqu'au futur des batteries Li-

ion en passant par les batteries LFP. Jusqu'à ce jour aucune donnée statistique n'est disponible à l'échelle nationale sur l'utilisation des batteries LFP au Bénin. Pour ce fait, une méthodologie adéquate a été déployée afin de mettre en place d'une base de données statistiques et d'étudier les scénarios d'évolution de ces données statistiques dans le temps.

REMERCIEMENTS

Nous adressons nos sincères remerciements :

- à l'Agence Béninoise d'Électrification Rurale et de Maîtrise d'Énergie (ABERME)
- à la Direction des Ressources Énergétiques (DGRE) du Bénin

REFERENCES

- [1] AIEA; Planification et perspectives pour les énergies renouvelables: Afrique de l'Ouest, ISBN :978-92-9260-082-2, November 2018
- [2] R.M. Dell, D.A.J. Rand, Energy storage a key technology for global energy sustainability, *Journal of Power Sources*. 100 (2001) 2–17. doi:10.1016/S0378-7753(01)00894-1.
- [3] N. Belmonte, V. Girgenti, P. Florian, C. Peano, C. Luetto, P. Rizzi, M. Baricco, A comparison of energy storage from renewable sources through batteries and fuel cells: A case study in Turin, Italy, *International Journal of Hydrogen Energy*. 41(2016)21427–21438. doi:10.1016/j.ijhydene. 2016.07.260.
- [4] J. M. Tarascon & M. Armand, "Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries.", *Nature*, vol. 414, no. 6861, pp. 359–67, Nov. 2001
- [5] Scrosati, K. M. Abraham, Schalkwijk, Walter A. van, J. Hassoun: *Lithium Batteries: Advanced Technologies and Applications*, John Wiley & Sons (2013)
- [6] L. Chancelier, A. O. Diallo, C. C. Santini, G. Marlair, T. Gutel, S. Mailley, C. Len, Targeting adequate thermal stability and fire safety in selecting ionic liquid-based electrolytes for energy storage, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 16 (2014) 1967–1976
- [7] V. Etacheri, R. Marom, R. Elazari, G. Salitra, D. Aurbach, Challenges in the development of advanced Li-ion batteries: a review, *Energy Environ. Sci.* 4 (2011) 3243–3262.
- [8] B. Xu, D. Qian, Z. Wang, Y. S. Meng, Recent progress in cathode materials research for advanced lithium ion batteries, *Materials Science and Engineering: R: Reports* 73 (2012) 51–65.

⁵⁰ https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeF4j14Ky6EPUm_

- [9] Gaines Linda, Cuenca Roy: Cost of lithium-ion batteries for vehicle (2000).
- [10] W. Xu, J. Wang, F. Ding, X. Chen, E. Nasybulin, Y. Zhang, J.-G. Zhang, Lithium metal anodes for rechargeable batteries, *Energy Environ. Sci.* 7 (2014) 513–537
- [11] J. Robert & J. Alzieu, "Accumulateurs - Accumulateurs au lithium", *Tech. l'Ingénieur, Trait. Convert. Mach. électriques*, pp. 1–15, 2004.
- [12] F. Badin: *Hybrid Vehicles: From Components to System*, Editions Technip, Paris, France (2013)
- [13] N. Nitta, F. Wu, J.T. Lee, G. Yushin, Li-ion battery materials: present and future, *Mater. Today*. 18 (2015) 252–264. doi:10.1016/j.mattod.2014.10.040.
- [14] K. Zaghib, M. Dontigny, P. Perret, A. Guerfi, M. Ramanathan, J. Prakash, A. Mauger, C. M. Julien, Electrochemical and thermal characterization of lithium titanate spinel anode in C-LiFePO₄/C-Li₄Ti₅O₁₂ cells at sub-zero temperatures, *J. Power Sources* 248 (2014) 1050–1057.
- [15] J. Alzieu, J. Robert, *Accumulateurs-Accumulateurs au lithium*, Ed. Techniques de l'Ingénieur, 2005.
- [16] L. Chancelier, A. O. Diallo, C. C. Santini, G. Marlair, T. Gutel, S. Mailley, C. Len, Targeting adequate thermal stability and fire safety in selecting ionic liquid-based electrolytes for energy storage, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 16 (2014) 1967–1976
- [17] A.-O. Diallo, A. B. Morgan, C. Len, G. Marlair, An innovative experimental approach aiming to understand and quantify the actual fire hazards of ionic liquids, *Energy Environ. Sci.* 6 (2013) 699–710
- [18] D. Doughty, E. P. Roth, A general discussion of lithium ion battery safety, *The Electrochemical Society Interface* 2 (2012).
- [19] J. Jeevarajan: *Safety of commercial lithium-ion cells and batteries: Lithium-Ion Batteries*. Elsevier (2014) 387–407.
- [20] D. W. Murphy, P. A. Christian, Solid state electrodes for high energy batteries, *Science* (New York, N.Y.) 205 (1979) 651–656
- [21] P. T. Coman, S. Rayman, R. E. White, A lumped model of venting during thermal runaway in a cylindrical Lithium Cobalt Oxide lithium-ion cell, *J. Power Sources* 307 (2016) 56–62
- [22] H. S. Hamut, I. Dincer, G. F. Naterer, Performance assessment of thermal management systems for electric and hybrid electric vehicles, *International Journal of Energy Research* 37 (2013) 1–12.
- [23] Agence Internationale de l'Energie, « Energy Perspectives 2017 », *Analyses E-CUBE Strategy Consultant*
- [24] M.-S. Park, J.-G. Kim, Y.-J. Kim, N.-S. Choi, J.-S. Kim, Recent Advances in Rechargeable Magnesium Battery Technology: A Review of the Field's Current Status and Prospects, *Isr. J. Chem.* 55 (2015) 570–585. doi:10.1002/ijch.201400174.
- [25] Y. Wang, R. Chen, T. Chen, H. Lv, G. Zhu, L. Ma, C. Wang, Z. Jin, J. Liu, Emerging non-lithium ion batteries, *Energy Storage Mater.* 4 (2016) 103–129. doi:10.1016/j.ensm.2016.04.001
- [26] X. Xiang, K. Zhang, J. Chen, Recent Advances and Prospects of Cathode Materials for Sodium-Ion Batteries, *Adv. Mater.* 27 (2015) 5343–5364. doi:10.1002/adma.201501527.
- [27] P. Saha, M.K. Datta, O.I. Velikokhatnyi, A. Manivannan, D. Alman, P.N. Kumta, Rechargeable magnesium battery: Current status and key challenges for the future, *Prog. Mater. Sci.* 66 (2014) 1–86. doi:10.1016/j.pmatsci.2014.04.001.

Analyse de la variation des paramètres météorologiques et de ses influences sur les régimes de vent dans l'est du Niger : cas de N'Guigmi

Moumouni Guero Mohamed^{1-2-3*}, Prodjinonto Vincent¹⁻²

¹Département de Génie Mécanique et Energétique, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, République du Bénin

²Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquée, Université d'Abomey Calavi, République du Bénin

³Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, République du Niger

*Adresse électronique de l'auteur : elhmehd@gmail.com

RÉSUMÉ : La variabilité des paramètres météorologiques en Afrique de l'Ouest en général et au Niger en particulier, est très observée. Cependant, des variables afférentes aux régimes de vent telles que les vitesses et les directions, ont été généralement très peu étudiées. Cette étude a pour objectif de rechercher l'influence de la manifestation climatique sur les régimes de vent saisonniers dans la zone Est du Niger. Il s'agit d'une part de caractériser la manifestation des paramètres météorologiques à partir de l'analyse de la température de l'air, l'humidité relative de l'air, la variation de la pression atmosphérique et l'ensoleillement. D'autre part, il a été question de comparer les relevés éoliens mensuels sur la période 2010-2019 afin de dégager leur comportement saisonnier dans le contexte de changement climatique. Une analyse en composantes principales a permis l'étude de l'impact des paramètres météorologiques sur les régimes éoliens saisonniers. Cette étude basée sur six (06) paramètres, a permis d'établir l'impact de leur fluctuation sur les régimes éoliens saisonniers. La première composante principale (F_1) est associée aux facteurs déterminant les conditions atmosphériques. La deuxième composante principale (F_2) est liée aux variables d'état du site. Pour ce qui est des paramètres qui agissent sur la variation temporelle des régimes de vent, on trouve une importante corrélation de la température de l'air et que l'humidité relative de l'air. On déduit donc que la température et l'humidité relative de l'air sont des paramètres du changement des régimes de vent dans la bande Est du Niger.

Mots-clés : Etude corrélative, analyse en composantes principales, régimes éoliens, variabilité climatique, logiciel XLSTAT

ABSTRACT: The variability of meteorological parameters in West Africa in general and in Niger in particular, is highly observed. However, variables related to wind regimes such as wind speeds and directions have generally not been subject of much analysis. The objective of this study is to investigate the influence of climatic events on seasonal wind regimes in the eastern part of Niger. On the one hand, it is about manifestation of the meteorological parameters characteristics from the analysis of the air temperature, the relative humidity of the air, the variation of the atmospheric pressure and the sunlight. On the other hand, it was about the monthly wind records comparison over the period 2010-2019 to identify their seasonal behavior in the context of climate change. A principal component analysis was used to study the impact of meteorological parameters on seasonal wind patterns. This study based on six (06) parameters, allowed to establish the impact of their fluctuation on seasonal wind regimes. The first principal component (F_1) is associated with the factors determining the atmospheric conditions. The second principal component (F_2) is related to site condition variables. Regarding the parameters that influence the temporal variation of wind regimes, we find a significant correlation between air temperature and relative humidity. It is therefore inferred that air temperature and relative humidity are parameters of the change in wind regimes in the eastern band of Niger.

Keywords: Correlated study, principal component analysis, wind regimes, Climate variability, XLSTAT software

I. INTRODUCTION

La situation météorologique en Afrique de l'Ouest est régie par des mouvements d'alizés et des vents thermiques entraînant avec eux des flux d'air sec ou humide donnant naissance à d'importants changements saisonniers. Les propriétés du vent sont étroitement liées à la variation saisonnière, donc à l'environnement météorologique. Le vent est un mouvement des masses d'air provoqué par le réchauffement différentiel de la surface de la terre et

la rotation de celle-ci autour de son axe. Par suite de la variabilité des très nombreux paramètres qui le gouvernent, sa vitesse horizontale instantanée présente un caractère spatio-temporel fluctuant qui justifie des considérations spectrales (Akrabou Omar et al.2017). Une approche simple qui est valable pour les zones climatiques sahariennes.

Etant donné que la vitesse du vent change sans cesse, la capacité énergétique du vent varie

évidemment aussi. Plusieurs facteurs contribuent à déterminer les variations du vent : le temps qu'il fait, la topographie du terrain et les obstacles. La production énergétique des éoliennes varie en fonction des variations des vitesses du vent (Saidou Madougou.2010). Les grandeurs qui influencent la variation des régimes saisonniers éoliens étant très variés, leurs études nécessitent donc l'application des méthodes multivariées. Ces techniques statistiques multivariées ont été utilisées par nombre de chercheurs pour faciliter la résolution et la compréhension des problèmes. Ces techniques ont été utilisées avec succès (Amani M. Kouassi et al.2010) pour permettre de comprendre l'influence de la variabilité climatique sur les régimes pluviométriques en Afrique de l'Ouest et l'étude hydrochimique des eaux souterraines de la région des lacs (G. SORO et al.2019).

Beaucoup de chercheurs ont mené des travaux dans l'évaluation du potentiel éolien, mais très peu se sont penchés sur les paramètres qui peuvent agir sur la variation spatiale et temporelle de ces gisements. A.A. Koukpemedji et al.2015 ont étudié l'influence de la température, de la pression et de l'humidité relative de l'air sur le potentiel éolien dans la zone côtière du Bénin dans le Golfe de Guinée. Ils ont proposé un coefficient qui montre l'impact de la température, de la pression et de l'humidité relative sur la puissance éolienne. S.M. El Moustapha, M.L. et al.2014, E. Guerber et al.2008 ont aussi traité des questions relatives à modélisation statistique du vent et l'influence des paramètres climatiques sur son transport et sa distribution.

La plus-value de notre étude est qu'elle prend en compte beaucoup plus de paramètres météorologiques et surtout une quantité de données assez conséquentes réparties sur dix (10) ans avec un pas de trois (3) heures de collecte. Elle se base sur l'utilisation des techniques d'analyses statistiques multivariées à savoir l'Analyse en Composantes Principales (ACP) pour comprendre l'influence de certains paramètres météorologiques sur la fluctuation temporelle du vent dans la zone de N'Guigmi (Est du Niger).

II. DONNEES ET METHODES

2.1 Présentation de la zone d'étude

Le secteur d'étude est N'Guigmi, située à 14°15'10" nord et 13°06'39" est, à environ 140 km au nord-est de Diffa et 1493 km à l'est de Niamey, capitale du Niger. La ville de N'Guigmi se trouve sur l'ancien rivage du lac Tchad et fait frontière avec le Tchad et le Nigeria. La région possède un climat désertique chaud (classification de Köppen BWhw, Micha Belda et al, 2014) à longue saison sèche avec des températures très élevées et moins de 200 mm de pluie concentrés sur 4 mois en été, typique de la zone saharo-sahélienne entre le Sahara et le Sahel. La température moyenne journalière annuelle y est

comprise entre 29°C et 30°C avec une température moyenne maximale de 38°C et une température moyenne minimale de 21°C [4].



Figure 1 : Situation géographique de la zone N'Guigmi

2.2 Données de l'étude

Les données météorologiques utilisées dans cette étude sont la vitesse de vent, la température de l'air, l'humidité relative de l'air, la pression atmosphérique et l'insolation. Elles ont été collectées auprès de la direction nationale de la météorologie (DNM). Ces données couvrent une période de dix (10) ans, notamment de 2010 à 2019 et sont mesurées à 10 mètres d'altitude. Les données utilisées ont servi à l'étude de la fluctuation des paramètres météorologiques dans le temps et dans l'espace ainsi qu'à leur impact sur les régimes éoliens dans la zone Est du Niger, en l'occurrence dans la ville de N'Guigmi.

2.3 Méthodes d'étude de la variabilité des paramètres météorologiques

La température de l'air, l'humidité relative de l'air, la pression atmosphérique et l'insolation ont été analysées à partir de statistique descriptive (valeurs moyennes). Cette analyse a été effectuée à partir des données recueillies à la station synoptique de N'Guigmi et a permis de comprendre la variation saisonnière et interannuelle de ces différents paramètres.

En vue d'apprécier la variation du vent au cours des différentes années, le critère de Kaiser a été appliqué. Il se définit comme une variable centrée réduite exprimée par l'équation 1.

Critère de Kaiser (variables centrées-réduites) : (Jean-Marc Lasgouttes, 2014)

On ne retient que les axes associés à des valeurs propres supérieures à 1, c'est-à-dire dont la variance est supérieure à celle des variables d'origine.

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad (1)$$

Avec :

X_i : valeur de la vitesse de vent sur l'année i ;
 \bar{X} : valeur moyenne interannuelle de la vitesse du vent sur la période étudiée ;
 σ : valeur interannuelle de l'écart-type de la vitesse du vent sur la période étudiée.

Une autre interprétation est que la moyenne des valeurs propres étant 1, on ne garde que celles qui sont supérieures à cette moyenne.

2.4 Méthode de l'analyse en composantes principales (ACP)

a. Propriétés du coefficient de corrélation

Variables liées : $|\text{cor}(x, y)| = 1$ si et seulement si x et y sont linéairement liées :

$$ax_i + by_i = c, \quad (2)$$

pour tout $1 \leq i \leq n$. En particulier, $\text{cor}(x, x) = 1$.

Variabes décorrélées si $\text{cor}(x, y) = 0$, on dit que les variables sont décorrélées mais cela ne veut pas dire qu'elles sont indépendantes.

Le coefficient de r de Bravais-Pearson ou coefficient de corrélation est donné par : (Jean-Marc Lasgouttes, 2014)

$$\begin{aligned} \text{cor}(x, y) &= r_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n p_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n p_i (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n p_i (y_i - \bar{y})^2}} \end{aligned} \quad (3)$$

Cet indice statistique exprime l'intensité et le sens de la relation linéaire entre deux variables quantitatives. Il assume des valeurs comprises entre -1 et 1. On a toujours (inégalité de Cauchy-Schwarz)

$$-1 \leq \text{cor}(x, y) \leq 1 \quad (4)$$

b. Nombre d'axes à retenir

L'ACP visant à réduire la dimension de l'espace des individus, on veut conserver aussi peu d'axes que possible. Il faut pour cela que les variables d'origine soient raisonnablement corrélées entre elles. Les seuls critères utilisables sont empiriques. On s'efforce de ne retenir que des axes à propos desquels une forme d'interprétation est possible (soit directement, soit en termes des variables avec lesquelles ils sont très corrélés).

c. Corrélation entre composantes et variables initiales

Sur les variables centrées-réduites, cette corrélation s'écrit :

$$\begin{aligned} \text{cor}(z^j, c_k) &= \frac{1}{\sqrt{\text{var}(c_k)}} \text{cov}(z^j, c_k) \\ &= \frac{1}{\sqrt{\lambda_k}} \text{cov}\left(\sum_{l=1}^p a_{lj}, c_k\right) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{\sqrt{\lambda_k}} \sum_{l=1}^p a_{lj} \text{cov}(c_l, c_k) = \frac{1}{\sqrt{\lambda_k}} \lambda_k a_{kj} \\ &= \sqrt{\lambda_k} u_{kj} \end{aligned} \quad (6)$$

Position dans un plan : On sait que $\text{var}(z^j) = 1$, mais on peut aussi écrire :

$$\begin{aligned} \text{var}(z^j) &= \text{cov}(z^j, z^j) \\ &= \text{cov}\left(\sum_{l=1}^p a_{kj} c_k, \sum_{l=1}^p a_{lj} c_k\right) \\ &= \sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^p a_{kj} a_{lj} \text{cov}(c_k, c_l) = \sum_{k=1}^p \lambda_k a_{kj}^2 \\ &= \sum_{k=1}^p [\text{cor}(z^j, c_k)]^2. \end{aligned} \quad (7)$$

Par conséquent, les 2 premières coordonnées sont dans un disque de rayon 1, puisque :

$$[\text{cor}(z^j, c_1)]^2 + [\text{cor}(z^j, c_2)]^2 \leq 1$$

III. ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

3.1 Variabilité des paramètres météorologiques

a. Variations de la température de l'air

Les valeurs moyennes de la température de l'air de la période 2010-2019 consignées dans le tableau 1 permettent de suivre l'évolution moyenne du régime thermique dans la zone de N'Guigmi.

Tableau 1 : températures mensuelles moyennes à N'Guigmi

Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin
21.69	25.64	29.66	33.09	34.60	34.39
Juil	Aout	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
32.07	29.94	31.46	31.12	27.19	22.23

Les températures moyennes mensuelles varient entre 21,69 °C (Jan) et 34,60 °C (Mai). Les moyennes mensuelles maximales s'observent en général pendant les mois d'Avril et de Mai. Les températures

sont élevées dans leur ensemble, et varient beaucoup durant l'année.

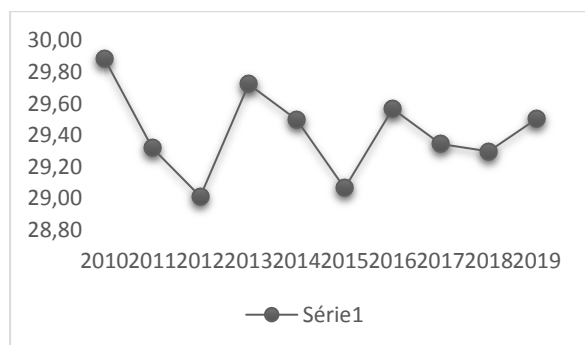


Figure 2 : Variation interannuelle de la température à N'Guigmi

On constate donc qu'il fait de plus en plus chaud suivant les années. Des valeurs supérieures à la moyenne ont été enregistrées avec une baisse significative en 2012 et 2015 par rapport à la température moyenne qui est de 29,42°C. Cette tendance semble se stabiliser avec des températures avoisinant la moyenne interannuelle. Ces températures ont atteint les plus fortes valeurs au cours de l'année 2010.

b. Variations de l'humidité relative de l'air

L'humidité relative s'exprime en pourcentage et se définit comme le rapport de la quantité d'eau effectivement contenue dans l'air et la capacité d'absorption à une température donnée. Les humidités relatives moyennes mensuelles (2010-2019) dans la zone de N'Guigmi (Tableau 2) varient entre 18,37 % (Mars) et 66,76% (août qui reste le mois le plus arrosé au Niger).

Tableau 2 : Humidités relatives mensuelles moyennes (%) à N'Guigmi

Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin
24.41	19.84	18.37	19.89	30.31	42.96
Juil	Aout	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
55.84	66.76	56.02	34.69	25.69	27.99

Ces valeurs reflètent parfaitement la particularité de la région. Les valeurs basses de l'humidité relative se justifie par le fait que la zone de N'Guigmi soit une zone désertique, donc avec beaucoup de soleil et de vent.

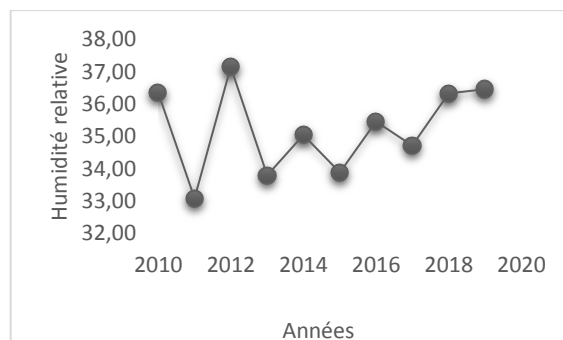


Figure 3 : Variation interannuelle de l'humidité relative de 2010 à 2019

Les variations interannuelles de l'humidité relative sur la période 2010-2019 montrent que l'humidité relative est un peu supérieure à la moyenne qui est de 35,23 et n'a fait que croître à partir de l'année 2015.

c. Variation de la pression atmosphérique et de l'insolation

La pression atmosphérique correspond à la pression générée par une colonne d'air en un point donné. Elle n'a de sens que si elle est donnée à une certaine altitude (valeurs mesurées à 10 m du sol pour les données utilisées pour ces travaux). Ses variations mensuelles entre 2010 et 2019 sont de 971,13 en valeur minimale et monte à 980,96 en valeur maximale.

Tableau 3 : Pressions atmosphériques mensuelles moyennes (%) à N'Guigmi

Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin
980.96	978.22	976.88	975.50	971.13	973.20
Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
973.81	977.17	977.04	975.98	977.57	980.47

La figure 4 nous renseigne sur la variation interannuelle de la pression atmosphérique sur les dix (10) de l'étude. Il est à remarquer la chute en 2017 de la valeur moyenne de la pression durant l'année.

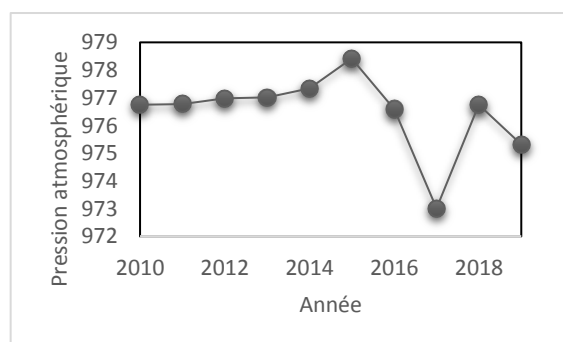


Figure 4 : Variation interannuelle de la pression atmosphérique de 2010 à 2019

En ce qui concerne l'insolation, elle désigne la quantité d'énergie solaire reçue pendant une période donnée. Elle caractérise également la durée d'exposition d'un site au soleil. Les quantités

d'énergie solaire moyennes mensuelles (2010-2019) sont consignées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Valeurs moyennes mensuelles de l'insolation

Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin
9,49	9,62	8,78	8,78	9,09	8,54
Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
8,07	7,55	8,43	9,53	10,17	9,48

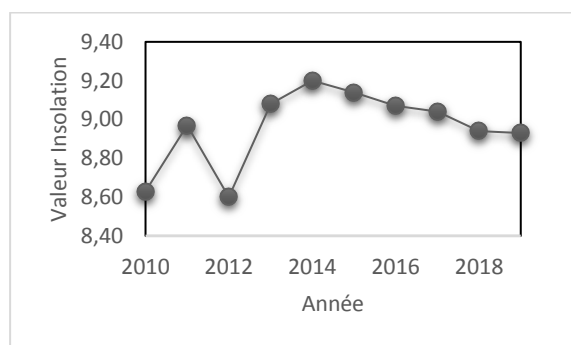


Figure 5 : Variation interannuelle de l'insolation de 2010 à 2019

La lecture de la courbe interannuelle de l'insolation nous informe d'une fluctuation importante entre 2010 et 2014 où on observe la valeur maximale (9,20). A partir de 2015 on remarque une légère stabilisation et une baisse pour atteindre la valeur moyenne annuelle de 8,93.

d. Variation de la vitesse de l'air

L'analyse des vitesses de vents sur la période 2010 à 2019 dans la zone de N'Guigmi nous donne les résultats suivants :

Tableau 5 : Valeurs moyennes mensuelles de vitesse de vent à N'Guigmi entre 2010 à 2019

Variables	Pression	Insolation	Temp Max	Temp Min	Hum Max	Hum Min
Pression	1					
Insolation	0.189	1				
Temp Max	-0.569	-0.163	1			
Temp Min	-0.561	-0.521	0.844	1		
Hum Max	-0.190	-0.623	0.107	0.555	1	
Hum Min	-0.132	-0.683	-0.002	0.492	0.959	1

On remarque en interprétant la matrice que l'ensemble des valeurs de corrélation est relativement faible. En effet, la majorité des coefficients de corrélation sont inférieurs à 0,70. Il s'en suit que les

Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin
6,06	5,83	5,82	5,16	4,95	4,58
Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
4,80	4,50	4,32	5,13	5,56	6,35

On remarque que les mois les plus ventés sont les mois correspondant à la saison de froid, notamment les mois de novembre, décembre, janvier et février.

Les variations interannuelles sont représentées dans la figure 6 avec la vitesse moyenne annuelle maximale observée en 2017 et la minimale en 2010.

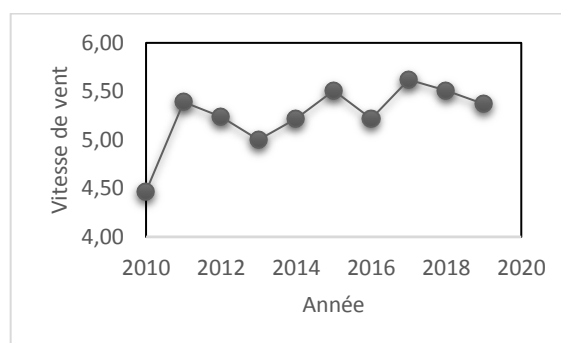


Figure 6 : Variation interannuelle de la vitesse de vent entre 2010 et 2019 à N'Guigmi

3.2 Impact des paramètres climatiques sur le régime éoliens

L'application de la méthode ACP à 6 variables qui sont la température maximale et la température minimale, l'humidité relative maximale et minimale, la pression atmosphérique et l'insolation a donné les résultats relatifs aux éléments qui constituent la base des interprétations. Les résultats matriciels présentés sont les matrices de corrélation et les matrices de valeurs propres.

variables analysées ne sont pas fortement corrélées entre elles. Ce qui diminue significativement la redondance de l'information et démontre du même

coup la pertinence dans le choix de ces variables pour mener l'étude.

Méthode de l'analyse en composantes principales (ACP)

L'impact de la variation des paramètres météorologiques sur les régimes saisonniers de vent a aussi été analysé à partir d'une analyse multidimensionnelle en particulier l'analyse en composantes principales (ACP). Cette méthodologie poursuit comme objectif la détermination des facteurs météorologiques qui influencent la variabilité temporelle du vent. La méthode d'ACP utilisée pour cette étude est basée sur l'interprétation du cercle de corrélation de même que les différents facteurs obtenus à la suite du traitement des données. Le choix des axes principaux tient compte de la réduction du nombre de facteurs. Ce nombre est tel que la somme cumulée des contributions est importante (75 % qui représente les trois quarts de l'inertie totale). En effet, deux variables sont corrélées lorsque leur coefficient de corrélation est supérieur ou égal à 0,7. De plus au niveau des plans factoriels, des variables ne sont représentatives que lorsqu'elles sont proches de l'extrémité de ces facteurs. Lorsque deux variables sont corrélées, la variation de l'une entraîne celle de l'autre. L'analyse factorielle des correspondances a permis une description des relations entre le régime des vents et les autres paramètres météorologiques. Des analyses de variance ont permis de juger de la signification des relations mises en évidence par l'analyse factorielle.

L'analyse multivariée a été réalisée au niveau de la station synoptique de N'Guigmi sur la période 2010-2019. Les variables utilisées sont la température, la pression, l'insolation, la vitesse du vent et l'humidité relative. Les différents traitements ont été réalisés à partir du logiciel Minitab 17 et Excel 2019 de la suite office.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Pression	0.296	0.450	0.816	0.210	0.001	0.004
Insolation	0.417	0.250	0.228	0.832	0.138	0.008
Temp Max	0.307	0.586	0.399	0.148	0.334	0.520
Temp Min	0.490	0.290	0.295	0.152	0.489	0.572
Hum Max	0.459	0.354	0.133	0.402	0.633	0.290
Hum Min	0.441	0.427	0.135	0.238	0.479	0.564

Les tableaux ci-dessus présentent les valeurs propres de chaque facteur. Seules les composantes principales dont les valeurs propres sont supérieures à 1 ont été considérées comme significatives. Seules

Le tableau suivant présente les statistiques descriptives (moyennes, écart-types, coefficient de variation) des variables utilisées dans l'ACP. Les différents coefficients de variation restent en général inférieurs à 25 % (près de 79 %). Les séries constituées sont donc homogènes dans l'ensemble. La série non homogène concerne l'humidité relative.

Tableau 7. Statistiques descriptives des variables retenues

Variabl	Minimu	Maxim	Moyen	Ecart-
e	m	um	ne	type
Pressio	958.54		976.49	
n	7	986.248	4	4.414
Insolati	6.358	10.527	8.961	0.903
on				
Temp				
Max	26.713	44.545	37.552	4.215
Temp				
Min	11.668	27.507	21.294	4.764
Hum				
Max	23.194	92.032	51.075	20.918
Hum				
Min	5.774	49.290	19.386	11.690

Les valeurs propres et les vecteurs propres de l'analyse sont consignés dans les tableaux 8 et 9 suivants :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Valeur propre	3.274	1.723	0.519	0.427	0.039	0.017
Variabilité (%)	54.575	28.709	8.653	7.124	0.658	0.282
% cumulé	54.575	83.284	91.936	99.060	99.718	100.000

les deux (2) premières composantes remplissent cette condition. Les résultats montrent que les variances exprimées par les deux premiers facteurs sont de 83,28 %. En effet, 75 % représente la valeur de

référence acceptable dans le cadre d'une ACP. Les deux premiers facteurs contiennent donc l'essentiel des informations relatives aux matrices des données.

Tableau 10 : Corrélations entre les variables et les facteurs :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Pression	0.536	0.590	0.588	0.138	0.000	0.000
Insolation	0.754	0.328	0.165	0.544	0.027	0.001
Temp Max	0.555	0.769	0.287	0.097	0.066	0.068
Temp Min	0.886	0.381	0.213	0.100	0.097	0.074
Hum Max	0.830	0.465	0.096	0.263	0.126	0.038
Hum Min	0.798	0.561	0.097	0.156	0.095	0.073

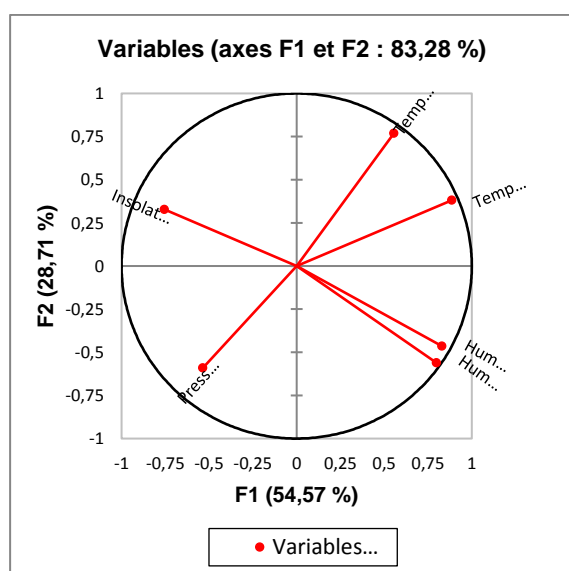


Figure 7 : Espace des variables des plans factoriels F1-F2

L'analyse dans l'espace des variables a été réalisée dans les plans factoriels F1-F2, qui rendent compte de manière satisfaisante de la structure des données. La première composante principale (F1) est déterminée par les facteurs définissant les conditions atmosphériques. Un premier regroupement se situant dans les valeurs positives comprend la température maximale (T_{max}), la température minimale (T_{min}), l'humidité relative maximale (U_{max}) et l'humidité relative minimale (U_{min}). Un deuxième regroupement se situant dans les valeurs négatives comprend la pression du milieu et l'insolation. Leurs situations opposées dans les cercles de communautés montrent que les effets de ces deux groupes de facteurs sont antagonistes. La deuxième composante principale (F2) montre une corrélation avec les grandeurs de l'humidité relative minimale et la température maximale.

Les différents résultats obtenus révèlent que la température et l'humidité relative sont des facteurs qui influencent la variabilité temporelle des vitesses de vent. En effet, l'influence de la température de l'air dans toutes ses composantes, est plus manifeste dans la dynamique des conditions atmosphériques agissant sur la variation de la vitesse du vent du fait de sa corrélation très positive avec le facteur F1. La température de l'air est suivie de l'amplitude de variation de l'humidité relative qui est aussi corrélée de façon positive à F1. Enfin, viennent la pression du milieu et l'insolation qui sont corrélées négativement avec le facteur 1.

IV. DISCUSSION

La transformation des données en valeurs réduites centrées a permis de mettre en évidence la tendance générale à la forte variabilité de la vitesse horizontale des vents et surtout des autres paramètres météorologiques étudiés dans la zone de N'Guigmi suivant les dix (10) années d'étude. Cette variabilité se manifeste par une baisse de l'humidité relative et une hausse des températures de l'air, ce qui s'accompagne d'une grande insolation.

L'étude de la figure 2 nous montre une variabilité de la température sur les dix ans. On a observé une hausse remarquable de la température pendant les mois de Mars, Avril et Mai et une baisse sur les mois de Décembre et de janvier. Sur la période d'étude, les années avec les plus hautes températures restent l'année 2010 et 2013.

L'analyse de la courbe de l'humidité relative nous renseigne du faible niveau de ce paramètre dans cette zone, certes dû à son caractère désertique.

Les courbes variation interannuelles de la pression atmosphérique et de l'insolation indiquent leur valeur

maximale sur l'année 2015 pour les deux paramètres météorologiques. Les valeurs moyennes minimales de l'insolation sont observées en 2012, année au cours de laquelle on a les températures moyennes les plus basses enregistrées et l'humidité relative de l'air la plus élevée. Les vitesses moyennes maximales sont enregistrées en 2017, qui correspond à l'année avec les pressions les plus basses, une insolation assez élevée et des valeurs de températures et de l'humidité relative proche de la moyenne.

Il apparaît que la température et l'humidité relative de l'air sont des facteurs de la variabilité temporelle des régimes éoliens. En effet, ces paramètres atmosphériques influencent fortement la variabilité temporelle du vent du fait de leur forte corrélation observée dans l'espace des variables des plans factoriels.

La matrice de corrélation consignée dans le tableau 3 nous montre que la majorité des coefficients de corrélation sont inférieurs à 0,70. Ce qui explique que les variables analysées ne sont pas fortement corrélées entre elles et donc diminuent significativement la redondance de l'information et démontre du même coup la pertinence dans le choix de ces variables pour mener l'étude.

Le tableau 8 nous renseigne sur une corrélation négative entre la composante principale F1 et l'insolation et de la pression atmosphérique. On observe une corrélation positive de la température et de l'humidité relative avec cette même composante principale.

Les résultats obtenus peuvent être mis en relation avec des travaux d'autres chercheurs. D'après les résultats des travaux A.A. Koukpedji et al.2015, AKRABOU Omar et al, la variabilité des paramètres météorologiques, notamment la température, l'humidité et la pression influent beaucoup sur les régimes éoliens saisonniers. Amani M. Kouassi et al.2010 ont montré que la fluctuation des paramètres climatiques comme la température ou l'humidité relative se fait ressentir sur d'autres la météo notamment sur la pluviométrie.

V. CONCLUSION

Dans cette étude, nous avons effectué une étude de la distribution de l'humidité relative, de température, de la pression et de l'insolation. Nous nous sommes intéressés à l'évolution temporelle de ces différents paramètres météorologiques et surtout leur implication dans la variabilité de la vitesse horizontale du vent.

Les températures moyennes mensuelles étudiée varient entre 21,69 °C (Jan) et 34,60 °C (Mai). Les moyennes mensuelles maximales sont observées pendant les mois d'Avril et de Mai, qui sont de façon générale les mois les plus chauds du pays. Les

températures sont élevées dans leur ensemble, et varient beaucoup durant l'année. Des valeurs supérieures à la moyenne ont été enregistrées avec une baisse significative en 2012 et 2015 par rapport à la température moyenne qui est de 29,42°C.

Pour ce qui est de l'humidité relative, le constat général est qu'elle a des valeurs assez basses, dû au fait que la zone d'étude est située à la porte du désert. Les valeurs observées néanmoins sont de l'ordre de 18.37 % en minima (Mars) et 66.76% en valeur maximale (août qui reste le mois le plus arrosé au Niger).

L'insolation et la pression atmosphérique se manifeste aussi par leurs valeurs maximales et minimales respectivement de 9,20 et 8,60 ; et 978,41 et 973,015. On remarque que les mois de décembre et de janvier présentent les valeurs de pression les plus élevées, tandis que les valeurs minimales de l'insolation sont observées durant la saison pluvieuse (Juin, Juil, Aout, Sept).

Nous avons proposé six (6) variables quantitatives pour l'analyse en composantes principales qui a permis d'analyser les facteurs de variabilité temporelle des régimes du vent. L'analyse en composantes principales a permis d'extraire deux composantes principales qui ont été utilisées pour l'interprétation des données. Les séries chronologiques constituées à partir de ces variables s'étendent sur la période 2010-2019. L'analyse en composantes principales basées sur ces différentes variables, a permis de mettre en évidence l'impact de la variabilité climatique sur les régimes éoliens. La première composante principale (F1) est associée aux facteurs définissant les conditions atmosphériques. La deuxième composante principale (F2) est associée aux variables d'état. Il est ressorti que les six variables influencent la vitesse horizontale du vent. On a observé une forte corrélation des principales composantes avec la température de l'air ainsi que l'humidité relative de l'air. On conclut donc que la température de l'air et l'humidité relative de l'air sont des facteurs de fluctuation des régimes éoliens dans la zone de N'Guigmi.

NOMENCLATURE

DNM : Direction nationale de la météorologie
 ACP = analyse en composantes principales
 X, Y, Z : données brutes/centrées/centrées réduites
 x_j, y_j, z_j : variable brute/centrée/centrée réduite
 p : poids p_1, \dots, p_n des individus (de somme égale à 1).
 λ_k = valeurs propres de la matrice
 σ_{ji}, r_{ji} : réel covariance/corrélation de x^j et x^l
 c_k : composante principale (nouvelle variable)
 a_k : axe principal : poids de c_k dans chaque variable z^j
 u_k : facteur principal : poids de chaque variable dans c_k

var (x) = variance
 σ = écart type
 cor (x, y) = coefficient de corrélation

REFERENCES

- [1] Saïdou Madougou. « *Étude du potentiel éolien du jet nocturne dans la zone sahélienne à partir des observations de radars profileurs de vent.* » Planète et Univers [physics]. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2010. Français. tel-00530163
- [2] AKRABOU Omar et al., « *Etude des paramètres météorologiques intervenant dans la simulation d'un parc éolien - Cas du site d'Adrar* », mémoire de master en physique énergétique et énergies renouvelables, université ahmed draia adrar, 2017
- [3] A.A. Koukpedji et al., « *Influence de la température, de la pression et de l'humidité relative de l'air sur le potentiel éolien dans la zone côtière du Bénin dans le Golfe de Guinée* » Revue des Energies Renouvelables Vol. 18 N°2 (2015) 217 – 226
- [4] S.M. El Moustapha, M.L. et al., « *Influence des paramètres météorologiques sur la production d'un aérogénérateur : Application sur le littoral sahélien* », Revue des Energies Renouvelables, Vol. 17, N°1, pp. 43 – 54, 2014.
- [5] E. Guerber et al., « *Modélisation statistique du vent: influence du changement climatique sur le transport éolien* » Xèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, 14-16 Octobre, Sophia Antipolis, 2008.
- [6] Micha Belda et al., « *climate classification revisited: from Köppen to Trewerta* » Climate Research, Vol; 59, 4 février 2014.
- [7] <http://www.stat-niger.org/statistique/file/Regions/Diffaenchiffres2011.PDF>
- [8] Amani M. Kouassi et al., « *Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire* »
- [9] G. SORO et al., « *Application des méthodes statistiques multivariées à l'étude hydrochimique des eaux souterraines de la région des lacs (centre de la Côte d'Ivoire)* » / Int. J. Biol. Chem. Sci. 13(3) : 1870-1889, 2019
- [10] Jean-Marc Lasgouttes, *Variables quantitatives : analyse en composantes principales*, Cours d'analyse de données, INRIA Paris, année 2013-2014

Dimensionnement et optimisation d'un système d'énergie hybride PV-biogaz pour les zones rurales du Mali: cas de Kolokani

Bah M Traoré^{1*}, Mamadou Dansoko¹, Fadaba. Danioko¹ et Mamadou Lamine Doumbia²

¹Centre de Calcul de Modélisation et de Simulation, Faculté des Sciences and Techniques de Bamako, Mali

²Université du Québec à Trois-Rivières, Canada

E-mail: batraoreb59@gmail.com

RESUME : Les zones rurales en Afrique, en particulier au Mali connaissent un déficit énergétique énorme qui handicape fortement leur développement. À cela s'ajoute l'épuisement des ressources fossiles et les problèmes environnementaux inhérents. Alors, le recours aux sources d'énergie alternatives ainsi que leur hybridation deviennent incontournables pour satisfaire la demande énergétique et préserver l'environnement. Ainsi, le système hybride PV- Biomasse comparé aux autres systèmes, se présente comme l'une des meilleures configurations à cause de sa grande souplesse et du fait qu'il est moins tributaire des conditions météorologiques. Dans cette étude, nous proposons un dimensionnement et optimisation d'un système d'énergie hybrides PV-Biomasse avec stockage d'énergie en vue d'assurer une production d'énergie fiable, durable et 100% renouvelable. Ce système hybride étudié est modélisé et simulé sous le logiciel HOMER afin de retenir la configuration optimale en termes de production d'énergie fiable et durable mais aussi en termes de coût minimal sur le cycle de vie du système hybride pour la zone rurale de Kolokani.

Les résultats obtenus après simulation montrent que la configuration optimale dans cette localité de Kolokani est composée d'un générateur biogaz de 100 kW, un champ PV de 160 kWc et un parc de batteries pour une production d'énergie fiable et durable avec un coût minimum sur cycle de vie système d'énergie hybride.

Mots clés : Système hybride, Générateur à biogaz, Photovoltaïque, Coût sur cycle de vie, Kolokani-Mali.

1. INTRODUCTION

Plus de 80% de la population malienne vivent en milieu rural et de moins 15% de cette population ont accès à l'électricité. Ces milieux ruraux ont un potentiel énorme qui est peu ou presque pas exploité. Dans la plupart des zones rurales maliennes comme Kolokani, l'irradiation moyenne annuelle est estimée à 1900kWh/m². Les populations vivent essentiellement d'agriculture et d'élevage, ces ressources offrent à la zone rurale de Kolokani un excellent potentiel pour développer les systèmes d'énergie hybrides comme le PV-Biomasse. Jusqu'à ce jour, ces zones rurales utilisaient des groupes électrogènes, les piles électriques, le bois et le charbon de bois pour les différents besoins énergétiques. L'utilisation de ces sources conventionnelles d'énergie a un impact considérable sur l'environnement et un coût très élevé pour une piètre qualité d'énergie. Pour accroître ce taux d'accès à l'électricité des zones rurales et préserver par la même occasion l'environnement, le défi est d'aller vers l'hybridation des sources d'énergie renouvelable.

De nos jours plusieurs travaux se sont focalisés sur cette hybridation des sources de production d'énergie. Les auteurs de [1,2] développent un système hybride PV-Biomasse-éolien ; les premiers s'intéressent au dimensionnement et à l'optimisation de leur système tandis que les seconds s'intéressent à l'évaluation

économique du système, pour les zones rurales. À noter que dans ces travaux les auteurs ne s'intéressent pas au stockage d'énergie qui est important pour la fiabilité du système (périodes d'intermittence). Les auteurs de [3,4] se sont basés sur la comparaison et la viabilité des systèmes hybrides par rapport à l'extension du réseau électrique national sans tenir compte du volet stockage. Dans [5], les auteurs ont développé un système hybride purement renouvelable dans un contexte de développement durable, très vulnérable aux conditions climatiques car il n'a pas de stockage d'énergie.

Dans cette étude, nous nous intéressons non seulement au dimensionnement et à l'optimisation du système hybride PV-Biogaz, mais aussi à l'intégration du système de stockage d'énergie. Cela permet d'assurer la continuité du service pendant les perturbations météorologiques, les pannes de générateurs et pendant les entretiens périodiques. Ce système hybride PV-biogaz avec stockage d'énergie est modélisé et simulé sous le logiciel HOMER afin de déterminer la configuration optimale et le coût minimum sur cycle de vie du système d'énergie hybride pour la zone rurale de Kolokani.

2. METHODOLOGIE PROPOSEE

II.1- Système hybride d'énergie renouvelable avec stockage d'énergie

Le système hybride purement renouvelable avec stockage d'énergie consiste à combiner deux ou plus de sources d'énergie renouvelable avec nécessairement un système de stockage du surplus d'énergie générée. Cette combinaison permet d'exploiter de manière efficace les potentialités de chacune des sources afin de supplier les périodes creuses de l'une ou l'autre des sources et les périodes de maintenance et d'entretien des sources. Le système de stockage permet d'assurer la fiabilité du système hybride. Le système hybride d'énergie PV-Biomasse avec stockage d'énergie s'avère être un système de production d'énergie durable et fiable pour les zones rurales en général et en particulier celles du Mali.

A. Modélisation du système Hybride PV-Biogaz

Le système hybride est constitué d'un champ photovoltaïque, d'un générateur à biogaz, un parc de batteries à grande capacité, des convertisseurs bidirectionnels et un contrôleur de charge. La puissance totale générée par le système est donnée par l'équation suivante :

$$P_{tot} = P_{Biogaz} + P_{solaire} \quad (1)$$

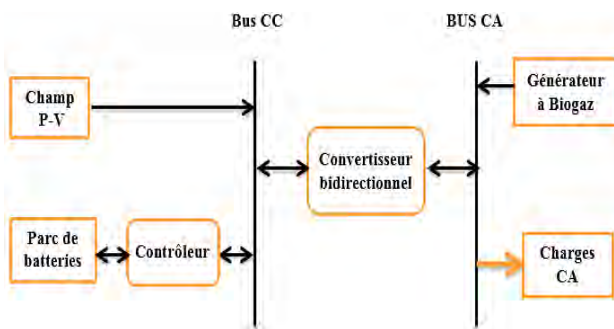


Figure 1: Diagramme de circuit du système hybride PV-Biomasse

B- Le générateur biogaz

La puissance produite par le générateur à biogaz est donnée par :

$$P_{Biogaz} = \eta_{gen} * B_0 \quad (2)$$

avec $B_0 = D * Y$

où η_{gen} , D , Y et B_0 sont respectivement le rendement du générateur à biogaz, la quantité de déchets collectés par jour, la quantité de biogaz produit par kg de déchets, le rendement de biogaz. Cette quantité est estimée à 40l/kg de déchets, pour les déchets frais de vaches [7].

Le tableau 1 renseigne sur les quantités de biogaz généré par les substrats.

Tableau 1 : Quantité de biogaz par ressource

Ressources	Biogaz Produit(l/kg)
Déchet d'élevage	40
Plantes vertes et tiges	100
Déchets alimentaires	160
Plantes sèches	118

$$D = N * F * d \quad (3)$$

N : le nombre d'animaux ; d : la quantité de déchets par tête d'animal et F la fraction de déchet collectée. Le volume de digesteur est donné par :

$$V_D = \frac{V_S}{0.9} \quad (4)$$

avec $V_S = V_1 * T_R$

où V_D , V_S , et T_R sont respectivement, le volume du digesteur, le volume de digestat et la teneur de substrat.

Le tableau 2 donne quelques valeurs de teneur des substrats.

Tableau 2: Quelques valeurs de teneur des substrats

Substrats frais	Teneur des substrats
Déchet de vache	50
Déchet de poulailler	20
Balle de riz	33
Bagasse de canne à Sucre	43

$$T_R = m_S * \rho \quad (5)$$

avec $m_S = m_D * 2$

m_S : masse de digestat ; ρ : masse volumique du digestat et m_D : masse de substrat.

C- Puissance PV

La puissance solaire des modules est donnée par la relation suivante :

$$P_{solaire} = A * \eta_P * N_P * I \quad (6)$$

avec A : surface du panneau solaire ;

N_P : nombre de panneaux ;

η_P : rendement du panneau ; ce rendement est environ 15% pour les modules du commerce ;

I : l'irradiation moyenne, cette valeur est comprise entre 5 à 6 kWh pour la zone de Kolokani [7].

II.2- Technique d'optimisation:

Les techniques de dimensionnement et d'optimisation se basent essentiellement sur les contraintes technologiques, des conditions locales et économiques pour satisfaire efficacement à la demande énergétique. La simulation se base sur les approches de performances techniques et économiques pour une production d'énergie durable et fiable. De nos jours il existe plusieurs logiciels de simulation comme HOMER, HOGA, Hybrid2 et bien d'autres [8]. HOMER (Hybrid optimization Model for Electric Renewable) développé par NREL (National Renewable Energy Laboratory), USA, est le logiciel de prédilection pour les systèmes hybrides d'énergies renouvelables [9,10]. Il permet d'effectuer trois principales tâches, la simulation, l'optimisation et l'analyse économique sensitive pour déterminer le coût net sur cycle de vie du système avec la prise en compte des fluctuations.

II.3- Site d'implantation



Figure2: Situation géographique de la commune de Kolokani

La commune rurale de Kolokani est située à 120 km de Bamako sur la route RN 3 et à plus de 90km du réseau de L'EDM-SA. La commune a une superficie d'environ 1250 km² et une population estimée à 57307 habitants, répartie en 7164 foyers [11]. Cette zone rurale a un taux d'accès à l'électricité de moins de 15%, la production agricole de la commune est estimée à 145.000 tonnes de céréales sèches, 30.000 tonnes d'arachides, 10.000 tonnes de cotons et un cheptel de plus 6360 têtes [12]. Ces ressources génèrent plus de 20 tonnes de substrats de bio gazéification par jour, l'ensoleillement diurne est supérieur à 8h par avec pic moyen de 5,77kWh/m²/j [13].

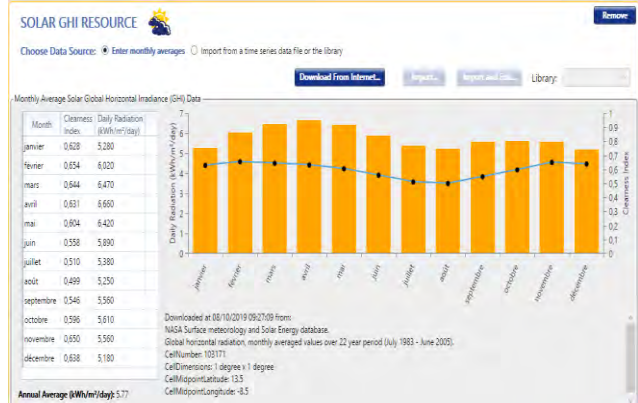


Figure 3: Courbe de la radiation de Kolokani

II.4- Besoins énergétiques

Après une brève enquête auprès des ménages en 2019 pour les besoins énergétiques, nous avons pu récolter quelques données.

Tableau 3 : Besoins énergétiques domestiques

Matériels	nombre	Puissance (W)	Charge (kW)	Durée (h)	Charge totale (kWh)
Lampe	5375	15	80,59	8	644,76
Ventilateur	645	60	38,7	8	309,6
Radio	1075	20	21,5	12	258
TV	645	100	64,5	8	516
Ordinateur	20	500	10	3	30
Frigo	30	900	27	8	216
Pompe	20	1500	30	3	90
Autres appareils	1075	10	10,75	4	43
Total					2107,36

Tableau 4 : Besoins énergétiques communautaires

Matériels	Nombre	Puissance (W)	Charges (kW)	Durée (h)	Charge totale (kWh)
Lampadaire	50	55	2,75	10	27,5
Ventilateur	20	60	1,2	4	4,8
Besoins de l'école	10	80	0,8	4	3,2
Besoins de CSCOM	2	800	1,6	8	12,8
Computer	10	600	6	4	24
Tube fluorescent	130	15	1,95	4	7,8
Moulin	10	1500	15	4	60
Autres appareils	8	100	0,8	4	3,2
Total					143,3

III-RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1 Simulation

La simulation sous l'environnement du logiciel HOMER consiste à faire un dimensionnement adéquat selon les contraintes locales et les besoins énergétiques à satisfaire afin d'obtenir la

configuration optimale du point de vue économique et de la satisfaction des besoins énergétiques. Le diagramme du système d'énergie hybride PV-biogaz avec système de stockage d'énergie est illustré comme suit :

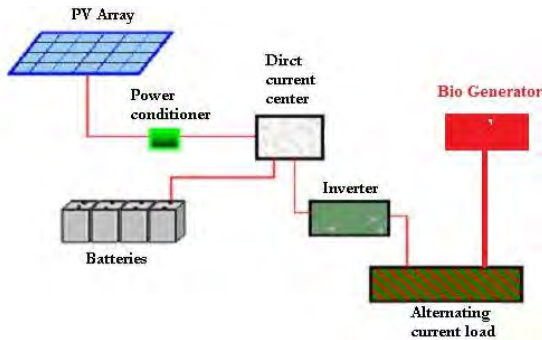


Figure 4: Diagramme du système d'énergie hybride PV-Biogaz isolé

Pour la simulation sous l'environnement de HOMER, le système a besoin de grandeurs d'entrée relatives à la localité et aux ressources disponibles. Après simulation, l'analyse des résultats obtenus nous permet d'identifier les configurations les plus optimales.

La figure 5 montre le profil de la consommation électrique de la zone rurale de Kolokani.

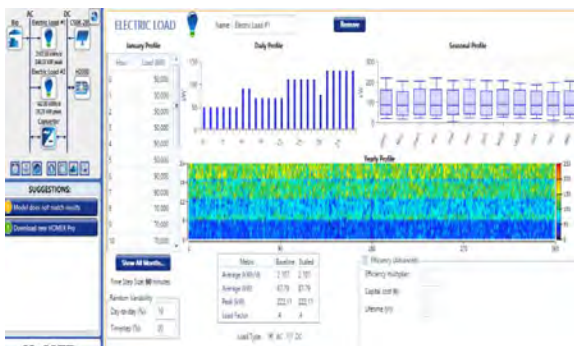


Figure 5: Profil de charge de la commune de Kolokani

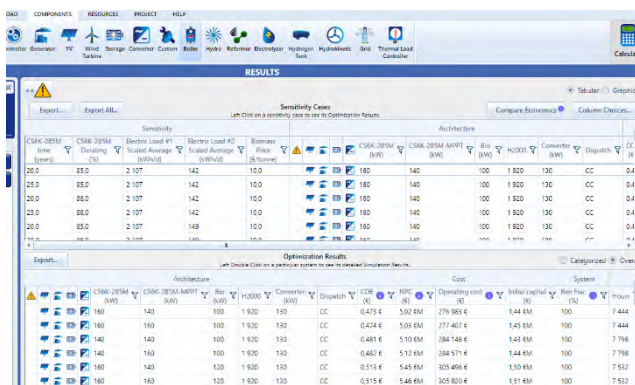


Figure 6: Résultat selon le logiciel HOMER

Homer nous permet également de faire une analyse économique, ce qui permet d'identifier la configuration économique optimale, les résultats de cette analyse sont consignés sur la figure ci-dessous.

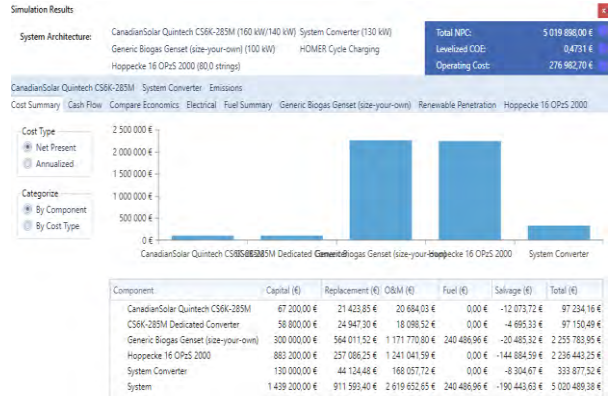


Figure 7: Analyse économique du système Hybride PV-Biomasse

III.2- Résultats et discussions:

Partant des potentialités des ressources solaires et de biomasses pour la commune rurale de Kolokani l'étude de faisabilité pour la satisfaction de la demande énergétique pour un profil de charge donné pour 7164 foyers. Homer nous donne pour les différents composants les combinaisons optimales.

Tableau 5: Combinaison optimale des composants

PV (kW)	Bio-générateur (kW)	Batteries	Convertisseur (kW)	Capitale initiale (CFA)	Total NPC (CFA)	COE (cfa/kWh)	PV Fraction (%)	Bio-générateur (hrs/yr)
160	100	1920	130	944.000.000	3.300.000.000	230	31,1	7444
140	100	1920	130	938.000.000	3.350.000.000	240	27,2	7798
160	120	2400	130	1.140.000.000	3.950.000.000	300	31,1	7526

Le tableau 5 nous fournit des résultats. La combinaison optimale avec un capital initial 944.000.000 Fcfa et un coût net sur cycle de vie du système d'énergie hybride d'environ 3.300.000.000 Fcfa et un prix de revient du kWh à 300 Fcfa. D'après la référence [13], le coût lié à l'extension du réseau national HTA est estimé à 15.000.000Fcfa/km. La localité de Kolokani étant situé à 100 km du réseau national, alors, le coût de l'extension du réseau est d'environ 1.500.000.000Fcfa.

La figure 8 nous montre la contribution de chaque source en histogramme provenant du logiciel HOMER.



Figure 8: Contribution des sources

Les courbes de la figure 9 montrent les puissances instantanées produites par chaque source pour la satisfaction de la demande ainsi que l'état de charge des batteries.

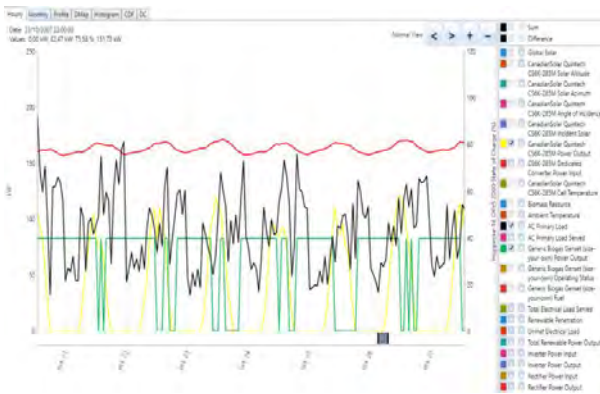


Figure 9 Courbe des puissances instantanées produites par sources

- Jaune : Puissance délivrée par les modules Canadian Quintech C56k
- Vert : Puissance délivrée par le générateur à biogaz
- Noir : Puissance à fournir pour les charges
- Rouge : L'état de charge des batteries Hoppecke 16OPZS2000

La figure 9 nous montre en temps réel l'évolution des puissances générées par les deux sources ainsi que l'état de charge des batteries. Les sources combinées peuvent couvrir la demande énergétique et le surplus d'énergie est stocké dans les batteries. En période creuse du générateur PV, le générateur à biogaz est mis à contribution, ce qui explique que l'état de charge des batteries présente une dynamique peu fluctuante comparée à celle des deux sources. Ces résultats prouvent la fiabilité de notre système hybride ainsi que sa capacité à faire face à la demande énergétique en périodes de creuse.

V- CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans cette étude, nous avons dimensionné et optimisé un système d'énergie hybride PV-biogaz avec stockage d'énergie pour les zones rurales du Mali, en particulier pour la localité de Kolokani. Cette étude offre une solution énergétique durable et fiable pour les zones éloignées du réseau électrique national et qui connaissent de réel problème d'électrification. Les résultats de simulation sous HOMER montrent que le système d'énergie hybride PV-Biomasse avec stockage d'énergie requis pour couvrir la demande énergétique de cette zone est composé d'un générateur à biogaz de 100 kW, d'un champ PV de 160 kWc et d'un parc de 1920 batteries. De plus, l'analyse économique révèle un capital initial de 944.000.000 Fcfa pour la réalisation de ce système hybride. La même analyse montre que l'extension du réseau national jusqu'à Kolokani nécessite un coût d'environ 1.500.000.000 Fcfa sans la prise en compte de la non qualité de l'énergie fournie. Le système fournit de l'énergie fiable et contribue à la préservation de l'environnement. Pour les zones rurales en Afrique, caractérisées généralement par la pauvreté, cette étude montre que le développement des sources d'énergie hybride est énergétiquement et économiquement viable car il permet une économie d'environ 500.000.000Fcfa comparativement à l'extension du réseau électrique national.

REFERENCES

[1] Rohit Sen, Subhes. Bhattacharryya. Off grid. electricity generation with renewable energy technologies in India. An application of HOMER. Renewable Energy 62 (2014) 388-398.

[2] W.S Ho. Hashim, J, S. Lim. Integrated biomass and Solar town concept for a smart eco village in Iskandar Malaysia (I M), Renewable Energy, 69 (2014) 190-201.

[3] Sachchidanand, Devendra Vashist Techno-Economic Analys of Hybrid Solar Biomass System for Rural electrification IRJET Volume 3, Issue 06, June 2016.

[4] Tsrinivas, B V Reddy. Hybrid Solar-Biomass power plant without energy storage. Case studies in thermal engineering, 2 (2014) 75-81.

[5] Ali Heydari, Alireza Askarzadeh optimization of a biomass-based photovoltaic power supply probability concept, Applied Energy, 165 (2016) 601-611.

[6] Faten Hosney Fahmy, Hanaa Mohamed Farghally, Ninet Mohamed Ahmed Photovoltaic-Biomass Gasifier hybrid Energy system for poultry House, IJMERE vol4 ISS.8 (2014) pp. no 51-62.

[7] J.K. Maherch. C. Agarwal, Mukesh. Sahi & all. Canadian Journal on Electrical and Electronics Engineering, Vol3, No 7, sep 2012.

[8] AMADER : Agence Malienne pour le Développement de l'Energie Domestique et l'Electrification Rurale. Prospectus d'Investissement de l'Energie pour Tous (SEfor All) du Mali. <https://www.se4all-africa.org> .consulté le 12 /07/2020.

[11] Rapport de diagnostic multisectoriel région Koulikoro/DRPC. Rapport du 23/04/2013.

<https://www.humanitarianresponse.info> consulté le 20/07/2020

[12] D. Conolly, H. Lund, B-V Mathiesen, M Leadhy. A renewable energy into various energy systems, Applied Energy (2009).

[13] ABERME/MIERT : Agence Béninoise d'Electrification Rurale et de Maitrise d'Energie. <https://www.reseau-cicle.org>. consulté le 12/06 /2020.

Amélioration de la qualité d'un réseau électrique par correction de déséquilibre de phases par la technique du filtrage actif

M. NIARE¹, F. DANIOKO¹, M. DANSOKO¹ et M.L. DOUMBIA²

¹Centre de Calcul de Modélisation et de Simulation, Faculté des Sciences and Techniques de Bamako, Mali

²Université du Québec à Trois-Rivières, Canada

E-mail : mohamedniare@gmail.com

RESUME : La qualité de l'énergie constitue un enjeu très important dans la fiabilité des réseaux électriques, équipements domestiques ou industriels. En effet, tout réseau électrique peut être impacté négativement si la qualité de l'énergie est remise en cause notamment son facteur de puissance. Cette qualité est en partie liée aux problèmes de déséquilibre de phases (échauffement des câbles et des équipements, arrêt des machines tournantes, destruction des équipements, etc.). Pour répondre à cette problématique, dans ce travail, nous avons dans un premier temps modélisé le réseau triphasé équilibré alimentant trois charges monophasées identiques. Puis, dans un second temps, nous avons modélisé un réseau triphasé déséquilibré dans deux configurations différentes ; c'est-à-dire avec une charge monophasée non identique et un défaut monophasé sur la phase 02. Pour cela, nous proposons une démarche basée sur la méthode SRF (Synchronous Reference Frame) pour résoudre le phénomène de déséquilibre dans un réseau électrique tout en tenant compte de l'atténuation des harmoniques générées par des charges non linéaires au niveau de la source. Nous avons construit et simulé un modèle des différents réseaux déséquilibrés ou non, avec ou sans filtrage actif de puissance sous le logiciel Matlab/Simulink. Les résultats obtenus montrent la validité de notre modèle avec une nette compensation de l'énergie active, une correction de déséquilibre et d'harmonique de courant (THD < 5%).

Mots-clés: Déséquilibre de phases, Filtrage actif, Distorsion harmonique, Qualité de l'onde, Référence synchrone.

1. INTRODUCTION

De nos jours, les besoins en énergie électrique deviennent de plus en plus croissants ainsi que les exigences en termes de qualité de cette énergie au niveau des usagers. En effet, l'une de ces qualités concerne l'équilibre de phases dans un réseau électrique qui en pratique se trouve généralement déséquilibré. Ce déséquilibre peut entraîner l'échauffement des câbles, des équipements électriques, l'arrêt soudain de machines tournantes, la destruction des équipements, etc.

Pour résoudre ce problème, plusieurs auteurs dans la littérature ont proposé des travaux. Les auteurs de [1] ont proposé un algorithme utilisant des courants de référence dans différentes conditions et basé sur la théorie des puissances instantanées qui permet de détecter et de compenser les courants harmoniques. Les résultats obtenus ont montré que leur modèle proposé permet une atténuation des harmoniques et une réduction du temps de réponse pour le calcul des courants de référence. Cependant leur modèle proposé n'est pas appliqué à un réseau déséquilibré.

Dans [2], les auteurs ont utilisé un filtre actif de puissance afin d'étudier les régimes de fonctionnement selon trois types de configurations : équilibré, déséquilibré en charge et cas d'un défaut monophasé côté charge. Les résultats obtenus sont satisfaisants, mais n'intègrent pas l'atténuation des harmoniques de courant au niveau de la source.

Les auteurs de [3] ont proposé un filtre actif parallèle de puissance triphasé basé sur un convertisseur de

tension à deux niveaux contrôlés par algorithme PQ pour dépolluer les réseaux électriques. Les résultats obtenus sont satisfaisants dans la qualité de compensation des harmoniques et la correction du facteur de puissance, sauf qu'ils ne tiennent pas compte du déséquilibre des systèmes en état de charge. Dans [4], les auteurs proposent un filtre actif parallèle qui s'adapte aux variations de la charge. Ce filtre est un onduleur de tension à modulation de largeur d'impulsion (MLI) destiné à éliminer les harmoniques de courant générés par un pont redresseur triphasé non commandé (charge non linéaire). Les résultats obtenus ont montré que le taux de distorsion harmonique (THD) calculé après filtrage est inférieur à 5%. Un tel dispositif est techniquement complexe et engendre des coûts économiques suite à l'utilisation du convertisseur MLI.

A noter que le réseau considéré n'est pas déséquilibré et le phénomène d'atténuation des harmoniques de courant au niveau de la source n'est pas pris en compte.

Dans [5], les auteurs utilisent un DSTATCOM pour filtrer les harmoniques des courants de charge, corriger le facteur de puissance et compenser la puissance réactive en utilisant deux méthodes : la SRF (Synchronous Reference Frame) et l'IRPT (Instantaneous Reactive Power Theory). Dans ces conditions, les résultats obtenus montrent que la méthode SRF est meilleure que celle de l'IRPT. Il faut noter que cette étude ne tient pas compte des défauts de charge et de leur fluctuation sur la qualité du réseau.

De plus, elle n'est pas appliquée à un réseau déséquilibré et ne s'intéresse pas au phénomène d'harmonique de courant au niveau de la source.

Dans les travaux de la référence [6], les auteurs étudient la robustesse et la performance dynamique d'un filtre actif par rapport à un filtre passif dans les conditions de variation de fréquence et de charge et non de la tension, ce qui explique que le phénomène de déséquilibre n'est pas pris en compte.

Dans [7], les auteurs utilisent la méthode des puissances instantanées et celle de la détection synchrone pour l'amélioration de la qualité du réseau sous influence de charges non linéaires. Les résultats obtenus à partir du filtre actif parallèle qui est basé sur la commande par hystérésis de l'onduleur sont satisfaisants, sauf que le réseau considéré n'est pas déséquilibré.

Les auteurs de [8] font une étude comparative entre une nouvelle approche proposée FMV (Filtre Multi-Variable) et la méthode SRF pour compenser les harmoniques de courants dans un réseau comportant plusieurs charges. Pour cela, ils utilisent deux onduleurs de courant pour injecter des harmoniques de courant aux points de connexion. Cette méthode engendre des problèmes technico-économiques suite à l'utilisation des deux onduleurs et ne tient pas compte de l'effet des charges non linéaires sur les courants au niveau de la source bien que les résultats soient satisfaisants avec un THD conforme à la norme.

Dans [9], les auteurs proposent une technique de commande en temps réel utilisant un filtre actif de puissance pour améliorer la qualité d'un réseau déséquilibré soumis à une fluctuation de charges non linéaires. Ils utilisent deux filtres STF (Self Tuning Filter), l'un pour traiter la tension du réseau et l'autre pour séparer le courant fondamental et les harmoniques. Les résultats obtenus sont satisfaisants avec un THD conforme à la norme, cependant, l'utilisation des deux filtres STF engendrent des complexités technico-économiques.

Dans [10], la théorie instantanée de puissance est proposée avec un filtre actif de puissance afin d'atténuer les harmoniques de courant au niveau de la source. Les résultats obtenus sont satisfaisants avec un THD conforme à la norme. Par ailleurs, il faut noter que l'article ne prend pas en compte le phénomène de déséquilibre dans les réseaux électriques.

En effet, aucun de ces travaux ne propose un filtre actif pour corriger le phénomène de déséquilibre dans un réseau électrique tout en tenant compte de l'atténuation des harmoniques générées par des charges non linéaires au niveau de la source, ce qui justifie notre intérêt pour une telle problématique. Le reste de ce papier se subdivise en trois sections : la première propose la méthodologie, la deuxième donne les résultats et enfin la dernière se consacre à la conclusion et perspectives.

2. METHODOLOGIE PROPOSEE

La démarche utilisée est la méthode SRF (Fig. 1) qui exploite une première transformation appelée transformation de Concordia appliquée seulement aux courants de lignes et une seconde transformation pour passer de courant de ligne en Park dq qui permet de transformer la composante fondamentale du courant en composante continue et les composantes harmoniques du courant en composantes alternatives. Cela permet d'éliminer la composante continue du courant à l'aide d'un simple filtre passe-bas.

La transformation inverse de Concordia permet d'obtenir les courants de référence.

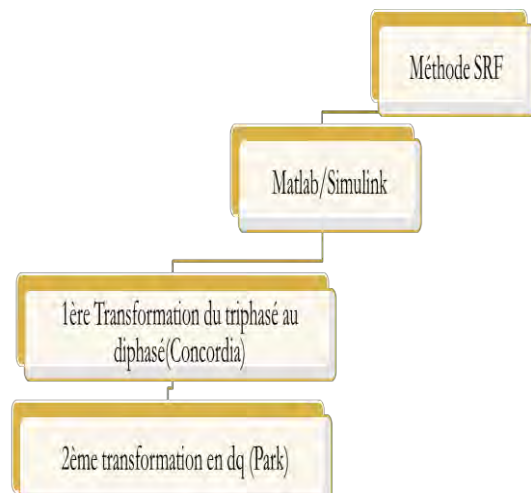


Fig. 1. Méthodologie proposée

La figure.2 synthétise la commande des courants du filtre par hystérésis :

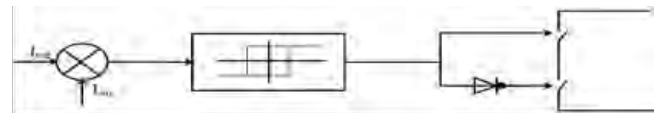


Fig.2 : Commande des courants de filtre par hystérésis [1]

La figure.3 montre la commande des interrupteurs par hystérésis :

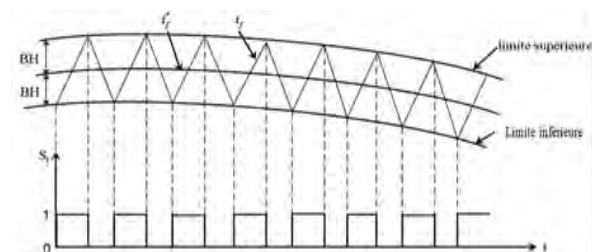


Fig.3 : Commande des interrupteurs par hystérésis [1]

L'onduleur de tension composé de six interrupteurs de puissance est présenté à la figure.4.

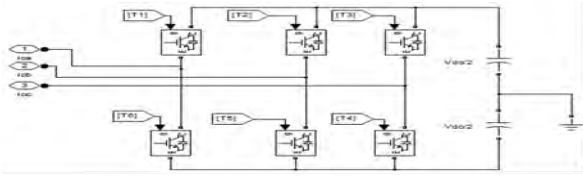


Fig.4 : Onduleur de tension

Pour arriver aux courants de référence, nous menons des transformations successives :

-Première transformation ou transformation de Concordia : il s'agit de passer les courants de ligne du triphasé en diphasé.

$$\begin{bmatrix} i_{\alpha} \\ i_{\beta} \\ i_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{la} \\ I_{lb} \\ I_{lc} \end{bmatrix} \quad (1)$$

-Seconde transformation ou transformation dans le référentiel dq : il s'agit de faire passer la composante fondamentale en continue et la composante harmonique en alternative.

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \\ I_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin(\theta) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{la} \\ I_{lb} \\ I_{lc} \end{bmatrix} \quad (2)$$

-Transformation inverse : cette opération nous permet de retrouver les courants de références.

$$\begin{bmatrix} I_{refa} \\ I_{refb} \\ I_{refc} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{\alpha} \\ I_{\beta} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Ensuite, on fait appel à l'algorithme d'identification des courants de référence par la méthode SRF en utilisant le logiciel Matlab/Simulink schématisé par la figure 5.

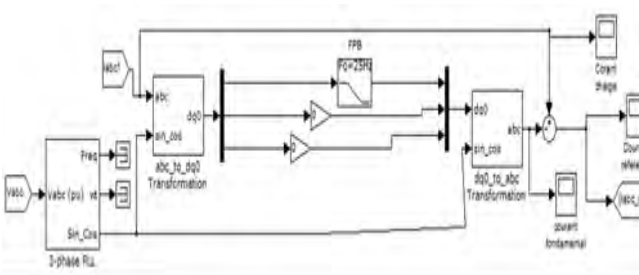


Fig. 5 : Principe d'identification des harmoniques par la méthode SRF.

Le schéma de principe d'un FAP à structure de tension est donné par la figure.6.

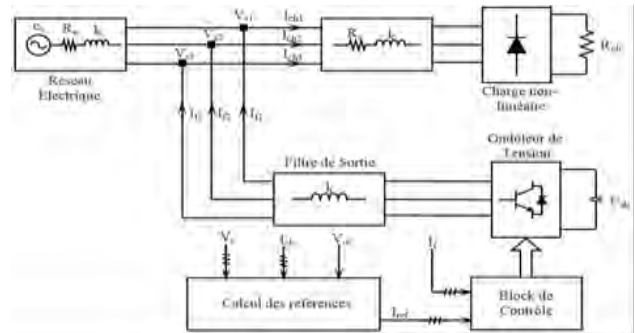


Fig. 6 : Ensemble réseau, FAP, charge polluante [2]

3. Résultats

Description du réseau électrique triphasé sans filtre actif de puissance :

-Système équilibré sans filtre actif parallèle noté FAP :

Dans le tableau 1 sont consignés les paramètres de simulation de notre réseau électrique équilibré sans FAP, modélisé en figure.7.

Tableau 1 : Paramètre de simulation

V_{seff} [V]	f [Hz]	r_s [mΩ]	L_s [μH]	r_e [mΩ]	L_e [μH]	r_{d123} [Ω]	L_{d123} [mH]
240	50	3.63	14.12	12.87	105.98	5	30

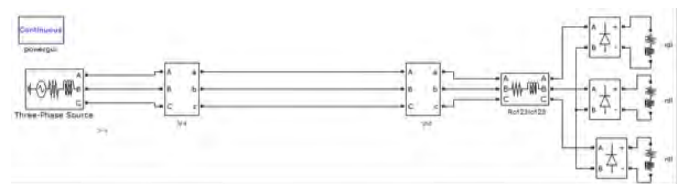


Fig. 7 : Réseau électrique équilibré sans FAP

La tension de source est sinusoïdale et équilibrée, comme l'indique la figure.8.

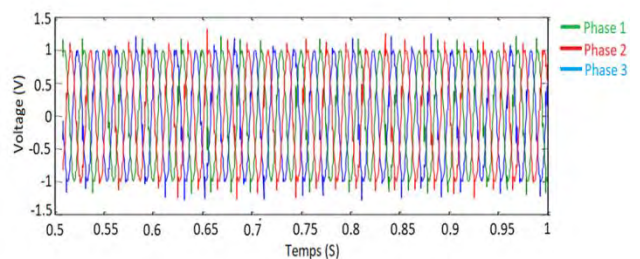


Fig. 8 : Tension de source

Le courant absorbé par la charge non linéaire est représenté par la figure 9.

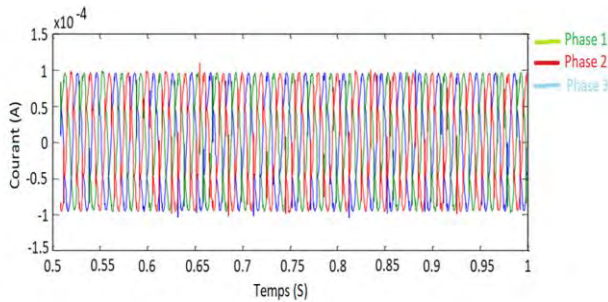


Fig. 9 : Courant de charge

Les charges non-linéaires génèrent des harmoniques de courant au niveau de chaque phase.

-Système déséquilibré sans FAP :

1er cas : déséquilibre de charges monophasées :

Dans le tableau 2 sont consignés les paramètres de simulation de notre réseau électrique déséquilibré sans FAP, modélisé en figure.10.

Tableau 2 : Paramètres de simulation

V_{s_eff} [V]	f [Hz]	r_s [mΩ]	l_s [μH]	r_c [mΩ]	l_c [μH]
240	50	3.63	14.12	12.87	105.98
r_{dt1} [Ω]	l_{dt1} [mH]	r_{dt2} [Ω]	l_{dt2} [mH]	r_{dt3} [Ω]	l_{dt3} [mH]
0.2	1	0.79	4.8	0.3	4

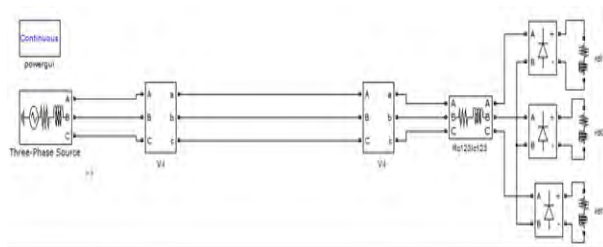


Fig. 10 : Réseau électrique déséquilibré, monophasé sans FAP

La tension de source est sinusoïdale et équilibrée, comme montre la figure. 11.

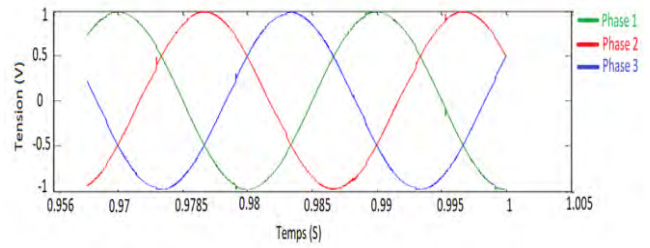


Fig. 11 : Tension de source

Par contre les courants de charge sont déséquilibrés, comme le montre la figure.12.

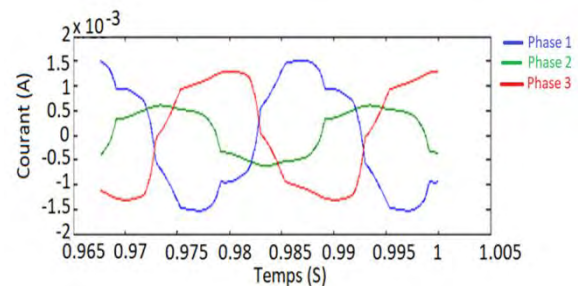


Fig. 12 : Courant de charge

2eme cas : Défaut monophasé de la phase 02 :

Les paramètres de simulation de notre réseau électrique déséquilibré sans FAP dont les valeurs sont consignées dans le tableau 3 ont été intégrés dans le modèle en figure.13.

Tableau 3 : Paramètres de simulation

V_{s_eff} [V]	f [Hz]	r_s [mΩ]	l_s [μH]	r_c [mΩ]
250	50	3.63	14.12	12.87
l_c [μH]	r_{dt1} [Ω]	l_{dt1} [mH]	r_{dt3} [Ω]	l_{dt3} [mH]
105.98	5	30	5	30

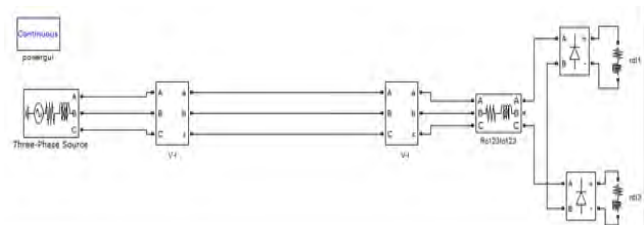


Fig. 13 : Réseau électrique déséquilibré, défaut de phase 02

Les tensions de source forment un signal sinusoïdal équilibré, présentées en figure 14.

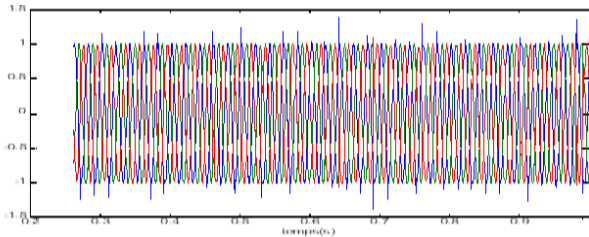


Fig. 14 : Tension de source

Par contre le courant de charge est déséquilibré, comme l'indique la figure.15.

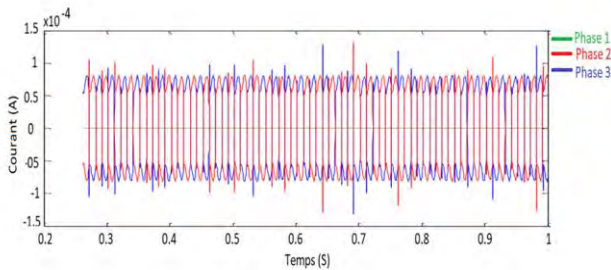


Fig. 15 : Courant de charge

Nous remarquons que les FFT de la phase une et trois sont identiques et que nous n'avons aucun résultat pour la phase deux, ceci est dû au fait du défaut monophasé sur cette phase.

Les FFT des phases de nos différents réseaux électriques sans FAP, sont consignées dans le tableau 4. Nous constatons que les valeurs du tableau sont toutes supérieures à 5%, d'où la nécessité d'apporter une correction.

Tableau 4 : Le THD des courants de sources avant filtrage

	Réseau électrique équilibré	Réseau électrique déséquilibré, charge monophasée différente	Réseau électrique Déséquilibré, défaut de Phase 02
THD phase1	09.67 %	17.45%	31.79%
THD phase2	10.31%	20.23%	No bar displayed
THD phase3	10.90%	20.12%	31.79%

Description du réseau électrique triphasé avec filtre actif de puissance

Après avoir décrit notre réseau électrique connecté à trois charges monophasées non-linéaires, nous allons monter notre filtre actif en parallèle entre la source et les charges non-linéaires monophasées.

Dans le tableau 5 sont consignés les paramètres de simulation de notre FAP,

Tableau 5 : Paramètres de simulation du FAP

L_f [μH]	C_{dc} [mF]	V_{dc} [V]
200	8	700

-Réseau électrique équilibré :

La figure.16 montre notre réseau électrique équilibré avec le FAP.

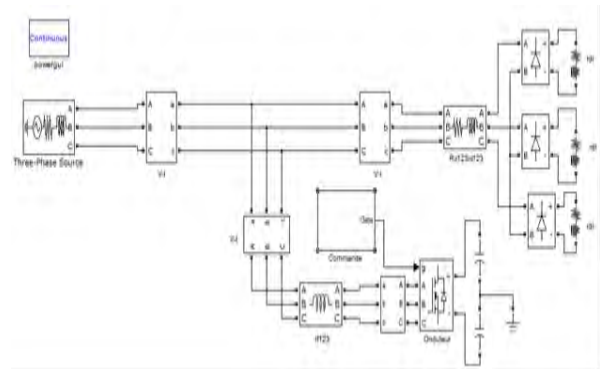


Fig. 16 : Réseau électrique équilibré avec FAP

Le courant de source est sinusoïdal par contre, le courant de charge est de la forme suivante, présenté en figure 17.

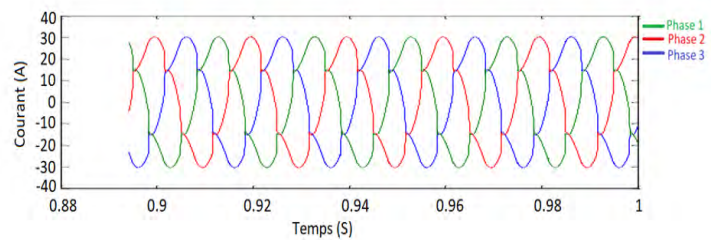


Fig. 17 : Courant de charge déséquilibré, charge monophasée identique

La figure.18 montre le courant du filtre injecté sur le réseau électrique.

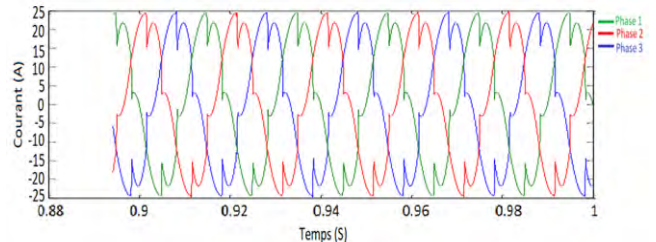


Fig. 18 : Courant de filtre injecté sur le réseau

La figure.18 montre la compensation du courant source.

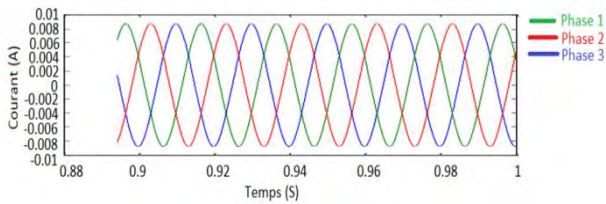


Fig. 19 : Courant de source compensé.

Les harmoniques de courant de charge de chaque phase ont été compensés.

L'énergie réactive a été compensée de façon à obtenir la forme sinusoïdale du courant.

-Réseau électrique déséquilibré monophasé :

Notre réseau électrique déséquilibré 1^{er} cas, charges non identiques avec FAP est présenté en figure.20.

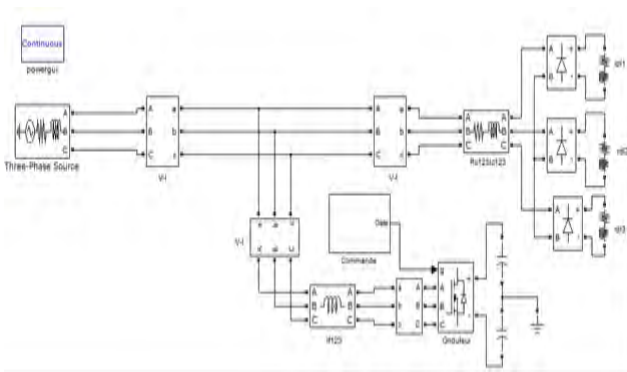


Fig. 20 : Réseau électrique déséquilibré, monophasé

Le courant coté source est sinusoïdal par contre, courant coté charge est de la forme suivante, comme l'indique la figure.21.

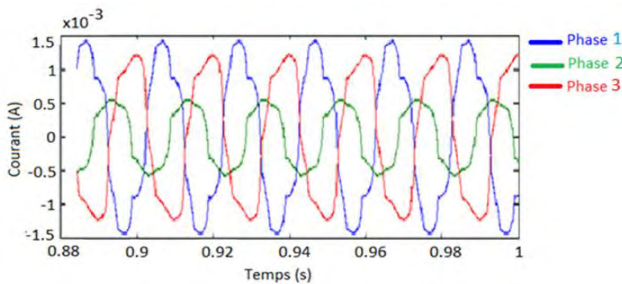


Fig. 21 : Courant charge déséquilibré et déformé, charge monophasée non identique.

La figure.22 indique le courant du filtre injecté sur le réseau.

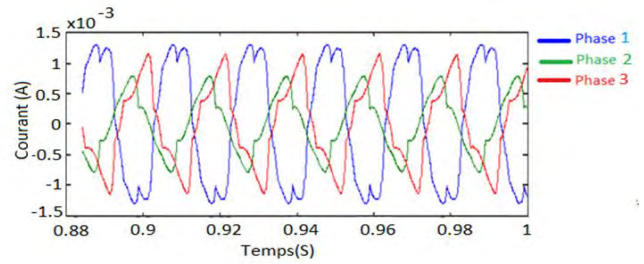


Fig. 22 : Courant de filtre injecté sur le réseau

Le courant source compensé, comme présenté en figure.23.

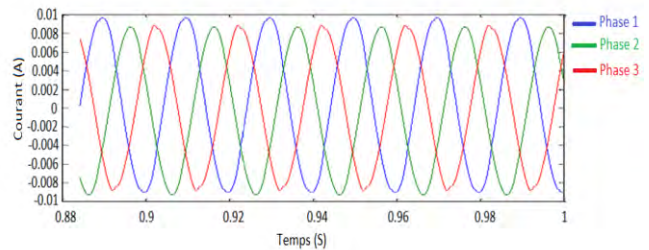


Fig. 23 : Courant de source compensé

Nous remarquons aussi que le THD est inférieur à 5%, ce qui prouve que le modèle proposé est efficace en termes d'atténuation des harmoniques du courant.

-Réseau électrique déséquilibré monophasé, défaut de phase 02 :

Notre réseau électrique déséquilibré 2^{ème} cas, défaut de phase02 avec FAP est présenté en figure.24.

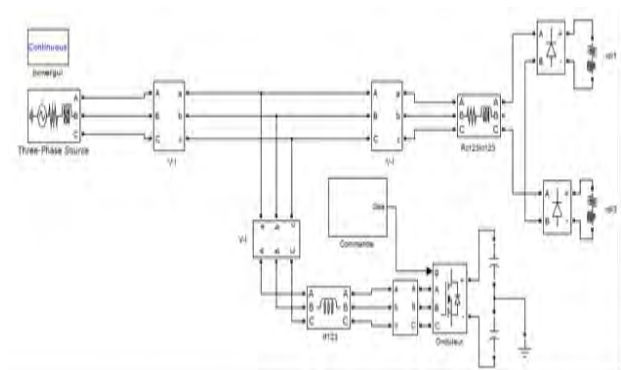


Fig. 24 : Réseau électrique déséquilibré, défaut de phase 02 sans FAP.

Le courant de source est sinusoïdal, par contre, le courant coté charge est de la forme comme indiqué en figure 25.

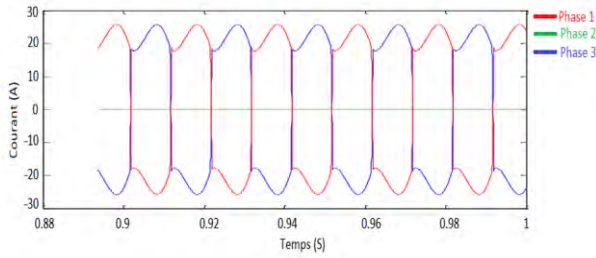


Fig. 25 : Courant e charge pour le réseau électrique à défaut de phase 02.

Le courant du filtre injecté sur le réseau électrique présenté en figure.26.

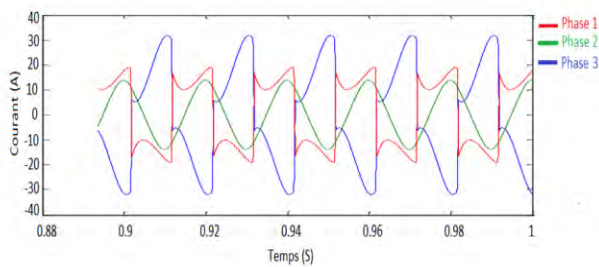


Fig. 26 : Courant filtre injecté sur le réseau

Le courant source compensé, comme présenté en figure.27.

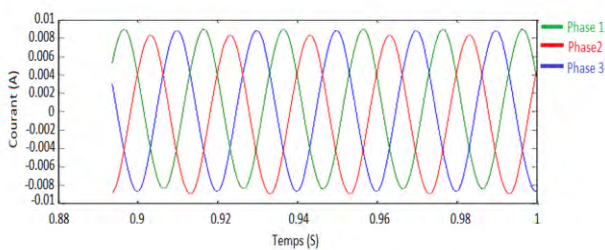


Fig. 27 : Courant de source compensé

Les FFT des phases de nos différents réseaux électriques avec FAP sont consignées dans le tableau 6. Nous remarquons que le THD est inférieur à 5%, ce qui prouve que le modèle proposé est efficace en termes d’atténuation des harmoniques du courant.

Tableau 6 : Le THD courant source après filtrage

	Réseau électrique équilibré	Réseau électrique déséquilibré, charge monophasée différente	Réseau électrique déséquilibré, défaut de phase
Phase1	2.21%	2.98%	2.34%
Phase2	2.21%	2.00%	2.14%
Phase3	2.21%	2.16%	2.00%

IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans ce papier, nous nous sommes intéressés à la qualité du réseau électrique en adaptant une démarche basée sur la méthode SRF (Synchronous Reference Frame) pour corriger les problèmes de déséquilibre de phases par la technique du filtrage actif de puissance. Dans le modèle proposé, les résultats obtenus via la simulation ont montré que les harmoniques générées par des charges non linéaires au niveau de la source ont été fortement atténués. En plus dans la partie stockage d’énergie de notre modèle, le bus de la tension continue aux bornes des deux condensateurs avec point milieu n’est pas régulé, d’où une simplicité d’implémentation par rapport au cas où le bus de la tension continue aux bornes du condensateur est régulé et avec pratiquement les mêmes efficacités. De même, la tension aux bornes du condensateur doit rester constante.

Dans nos travaux futurs, il serait possible et voire intéressant d’aborder d’autres types de montage tels que : montage série, hybride (parallèle - série) ou UPQC (Unified power Quality Controller) pour améliorer davantage la qualité du réseau quelle que soit sa complexité.

REFERENCES

[1] A. Boussaid « Filtrage actif des harmoniques dans les réseaux électriques. Contribution à l’amélioration de l’énergie électrique » Thèse à la faculté de sciences et de technologie. Département d’électrotechnique. Constantine, Algérie, Soutenu le 05/01/2017.

[2] A. Asma et B. A. Yassine « Etude et Simulation d’un circuit de commande pour un filtre actif de puissance parallèle à deux bras à point milieu pour un réseau électrique à trois fils ». Mémoire de Master de l’Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen en Algérie, Soutenu le 25 Juin 2015.

[3] A. Morsli, A. Tlemçani, M.S. Boucherit et N. Ould Cherchalit, « Dépollution des réseaux électriques basse tension utilisant un filtre actif parallèle à deux niveaux contrôlé par algorithme PQ». Acta Electrotehnica, volume 53, number 2, 2012,

[4] L. Zellouma, S. Saad, N. Debbache et A. Omeiri, « Etude de l’auto-adaptivité du filtre actif parallèle aux variations de charge » Revue synthèse N 17, Janvier 2008, Annaba, Algérie.

[5] M. Chamoli, S. Gairola, SRF And IRPT Methods of Dstatcom for Combined Harmonics Elimination and Reactive Power Compensation, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) <http://www.ijert.org> ISSN: 2278-0181 IJERTV7IS070107. Published by : www.ijert.org Vol. 7 Issue 07, July-2018

[6] A. J. Mahdi, B. A. Fadheel Study the Robustness Active Filter for a Three Phase Power Rectifier Considering Line Frequency and Load Variations. [en

ligne] Journal of Babylon University/Engineering Sciences/ No.(1)/ Vol.(26): 2018.

[7] R. NAdjah, H. Brahim « Etude et Simulation d'un Filtre Actif de Puissance » mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf-M'Sila [en ligne]

[http://dspace.univ-
msila.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6591/6
14.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.univ-msila.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6591/614.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[8] L. Benyettou, "Comparative Study Entered New Approach FMV and Control SRF for Active Compensation of Harmonic Currents in Shunt Active Power Filter". Laboratory of Electrical Engineering, University of M'sila, Algeria. [en ligne]

[9] S. Biricik, S. Redif, Ö. C. Özerdem, S. K. Khadem, M. Basul "Real-Time Control of Shunt Active Power Filter under Distorted Grid Voltage and Unbalanced Load Condition using Self Tuning Filter" Dublin Institute of Technology, Dublin, Ireland

[10] K. J. S. Khan and S. Chunduri "Mitigation of Current Harmonics Using Shunt Active Power Filter" International Journal of Advances in Engineering & Technology, Aug., 2015. ©IJAET ISSN: 22311963 [en ligne]

[https://www.researchgate.net/publication/295918664_mitigation_of_current_harmonics_using_shunt_active_power_filter.](https://www.researchgate.net/publication/295918664_mitigation_of_current_harmonics_using_shunt_active_power_filter)

SANTE ET MEDECINE TRADITIONNELLE

Plantes médicinales utilisées dans le traitement du covid-19 et difficultés d'approvisionnement durant la période du cordon sanitaire au Bénin

Sènan Ingrid LEGBA^{1*}, Eude O. A. GOUDEGNON², Chaïd Abdoul A. TCHOUGOUROU², Madjidou OUMOROU³

¹Département de Biologie Végétale, Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin

²Département de Génie de l'Environnement, Université d'Abomey-Calavi, École Polytechnique d'Abomey-Calavi

³Laboratoire d'Écologie Appliquée, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou
* Auteur pour toute correspondance: ingride.legba@gmail.com

RÉSUMÉ : La Covid-19 est une maladie émergente causée par un virus du nom de coronavirus apparu en 2019 dans la ville de Wuhan en Chine. Nombreux traitements ont été proposés pour essayer de guérir de cette maladie mais, aucun ne s'est encore révélé efficace poussant ainsi la population mondiale et en particulier l'Afrique de l'Ouest à revenir aux sources endogènes (utilisation des plantes médicinales). Dans cette optique, plusieurs herboristes ont utilisé les recettes liées aux plantes capable de guérir la Covid-19. Notre étude s'est donc donné comme but d'effectuer des enquêtes ethnobotaniques auprès de ces herboristes, afin d'identifier les espèces médicinales entrant dans le traitement du Covid-19 et l'effet des mesures de sécurité sur leur disponibilité dans les marchés ruraux et urbains. Pour ce faire, soixante (60) commerçants de plantes médicinales dont la taille a été déterminée en utilisant la formule de Dagnélie ont été interviewés. Les données collectées ont traité dans le logiciel R. Ainsi, de nos enquêtes il ressort que de nombreux enquêtés sont incapable de guérir la Covid-19 contre un très faible effectif affirmant être capable de guérir cette maladie. De plus, les plantes indiquées comme étant capables de guérir le Covid -19 sont des plantes qui sont pour la plupart préconisée dans le traitement du paludisme, de la fièvre et les infections. Ils sont essentiellement à administrer par voie orale soit en alcoolature ou en décoction avec pour organes des plantes les plus utilisés comme les racines, l'écorce, la tige feuillée, les fruits et les épices.

Mots-clés : Covid-19, plantes médicinales, Bénin.

ABSTRACT: Covid-19 is an emerging disease caused by a virus called coronavirus that appeared in 2019 in the city of Wuhan in China, creating a pandemic. Many treatments have been proposed to try to cure this disease but none have yet proved to be effective, thus pushing the world population and in particular West Africa to return to the sources of medicinal plants. With this in mind, several traditional therapists have come forward as being able to cure Covid-19. Our study therefore set itself the goal of carrying out ethnobotanical surveys with traders and traditional therapists in order to identify the species of medicinal plant involved in the treatment of Covid-19 and the effect of installing the cord. Health on their availability in the markets. To do this, sixty (60) traders of medicinal plants whose size was determined using Dagnélie's formula were interviewed. Following the data collection, we proceeded with the help of R software and an Excel spreadsheet to process the collected data. From our surveys, it appears that many respondents are unable to cure Covid-19 against a very small workforce claiming to be able to cure this disease. In addition, the plants indicated as being able to cure Covid-19 are plants which are most recommended in the treatment of malaria, fever and infections. They are mainly to be administered orally either in alcohol or as a decoction with the most commonly used plant organs: roots, bark, leafy stems, fruits and spices.

Keywords: Covid-19, traditional medicine, medicinal plants.

1. INTRODUCTION

Il est impératif pour l'homme de prendre conscience de l'importance des plantes, de la valeur des forêts en tant que ressource naturelle renouvelable et de leur rôle de production d'une grande diversité de biens et services, notamment dans le domaine de la santé ; grâce aux différentes vertus thérapeutiques des plantes. En effet, la médecine traditionnelle est la somme totale des connaissances, compétences et pratiques qui reposent sur les théories, croyances et

expériences propres à une culture et qui sont utilisées pour maintenir les êtres humains en bonne santé ainsi que pour prévenir, diagnostiquer, traiter et guérir des maladies physiques et mentales (OMS, 2000). En Afrique, en Asie et en Amérique latine, jusqu'à 80 % de la population a recours à la médecine traditionnelle pour répondre à certains de leurs besoins au niveau des soins de santé primaires. Selon Moeti de l'OMS, les guérisseurs sont plus accessibles, moins coûteux et mieux perçus par les

populations locales que les systèmes de soins conventionnels (le monde Afrique, 2019). Le Bénin est un pays francophone d'Afrique de l'Ouest. Il est le berceau de la religion vodoun. Étant très attaché à ses coutumes et traditions, la population béninoise, celle rurale et en partie celle citadine a souvent recours à la médecine traditionnelle pour guérir les maladies. La médecine traditionnelle béninoise, est l'ensemble des pratiques traditionnelles, et culturelles qui tire ses principes dans des différentes coutumes, du vodoun. Basé souvent sur des cultes liés aux ancêtres et aux dieux de la nature, elle se pratique depuis des millénaires à l'aide de médicaments conçus à base de la matière animale ou végétale dont les enseignements sont transmis de génération en génération. Malgré les nombreux progrès réalisés par la médecine moderne de nos jours, plus de 80% de la population béninoise font recours à la médecine traditionnelle pour le traitement de plusieurs maladies (Toko, 2017). C'est ainsi que plusieurs essences végétales ont été décrétées comme ayant des vertus médicinales. En outre, depuis quelques mois, le monde est secoué par une pandémie d'une maladie infectieuse émergente appelée la maladie du Covid-19, provoquée par le coronavirus ou SARS – CoV-2. Covid-19 fait référence à « *Coronavirus Disease 2019* ». Le virus qui entraîne la Covid-19 se transmet principalement par des gouttelettes produites lorsqu'une personne infectée tousse, éternue, ou lors d'une expiration. Ainsi, les personnes saines peuvent être infectées en respirant le virus, s'ils sont à proximité d'une personne malade, ou en touchant une surface contaminée puis les yeux le nez ou la bouche (OMS, 2019). Pour lutter contre la propagation de ce virus, il a été instauré au Bénin un cordon sanitaire pour compter du 30 mars 2020 jusqu'au 10 mai 2020 (Ministre de l'intérieur, 2020). Ledit cordon comprenait les communes suivantes : **Cotonou, Abomey-Calavi, Allada, Ouidah, Tori-Bossito, Kpomassè, Toffo, Zè, Sô-Ava, Aguégoués, Sèmè-Podji, Porto-Novo, Akpro-Missérété, Adjara, et Atchoukpa** (commune d'Avrankou). Durant cette période de cordon sanitaire, les communes ainsi isolées rendaient difficile la circulation de certaines denrées parmi lesquelles plusieurs essences végétales très prisées par les populations. En effet, parmi ces espèces végétales, certaines ont été pointées du doigt comme étant capable de guérir les personnes atteintes du Covid-19. Dans le but de mener des enquêtes ethnobotaniques sur les plantes médicinales entrant dans le traitement du Covid-19 et l'influence du covid-19 sur la disponibilité des plantes médicinales commercialisées dans les départements les plus touchés par la pandémie ; il est

essentiel d'assurer une meilleure protection des ressources végétales et en particulier de ces plantes utiles. De façon spécifique, il s'agit de :

- Recenser les espèces végétales entrant dans le traitement du covid-19 ;
- Identifier les organes, leurs usages et les maladies traitées par les plantes médicinales utilisées dans le traitement du Covid-19 ;
- Analyser l'influence du cordon sanitaire sur l'approvisionnement en plantes médicinales.

2. METHODE

2.1. Localisation géographique des marchés prospectés

Pour l'atteinte des objectifs de cette étude notre choix a été porté sur les marchés de Ouando avec une superficie de 35 363 m² et Ahouangbo sur une superficie de 2429 km². Ces deux marchés font partie des plus grands marchés de la ville de Porto-Novo voir Figure 1 (RPGH3, 2002 ; AFRIQUE CONSEIL, 2006 ; *Nagnonhou, 2020*). A ces marchés s'ajoutent le marché de Dantokpa (Figure 2) avec une superficie de 180 000m². Il est le plus grand marché de l'Afrique de l'Ouest. Ce marché se retrouve dans la commune de Cotonou la capitale économique du Bénin. La renommée du marché est sous-régionale voire internationale vu que de nombreux commerçants d'Afrique de l'Ouest (Nigeria, Mali, Burkina Faso, Niger, Côte d'Ivoire) et d'Afrique centrale notamment du Cameroun, se retrouvent sur ce grand marché pour y faire des affaires (RGPH1, 2002, AFRIQUE CONSEIL, 2006 ; Boko, 2006). De ce fait, il est incontournable en matière d'échanges commerciaux et particulièrement celui des plantes médicinales. Enfin, le marché Calavi-Tokpa (Figure 3) se retrouvant dans la commune d'Abomey-Calavi qui est une ville en voie de développement. Le marché Calavi-Tokpa de Abomey-Calavi fait corps avec l'embarcadère qui est érigé dans le même bâtiment que la Direction de professions et établissements touristiques, dont les agents assurent le voyage des touristes vers Ganvié, Sotchanwé et Sô-Ava (RGPH1, 2002, Assogbadjo, 2017). En somme, tous les marchés du milieu d'étude sont situés dans des villes qui ont été incluses dans le cordon sanitaire, ce qui fait qu'ils ont été choisis pour milieux d'études. Ces marchés investigués ont été retenus sur la base du nombre important des commerçants des plantes médicinales, de la diversité des plantes se trouvant sur les étalages et du nombre d'acheteurs de plantes médicinales traitant le covid-19 par jour.

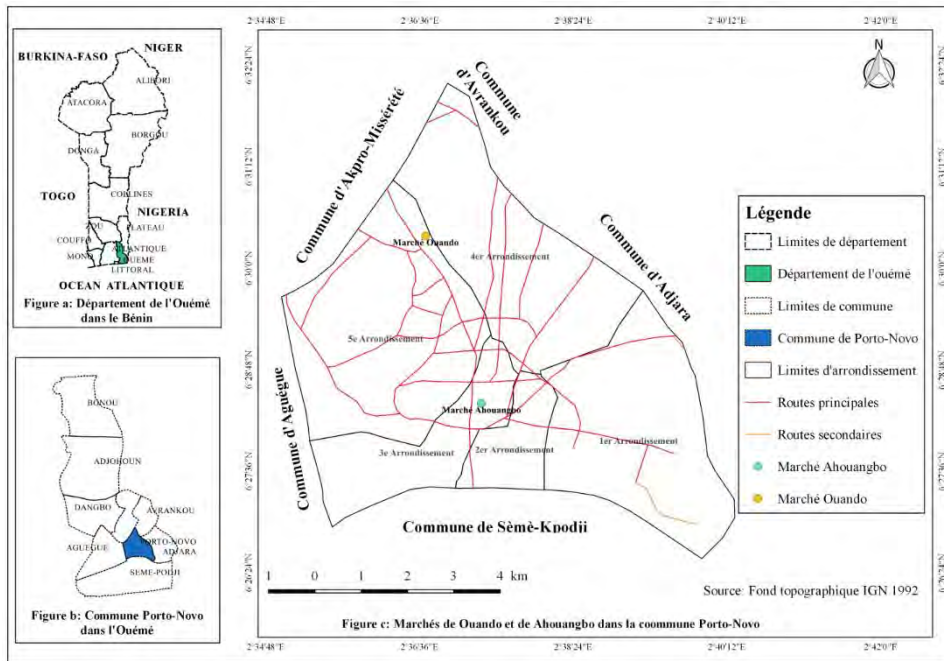


Figure 1. Carte des Marchés de Ouando et Ahouangbo

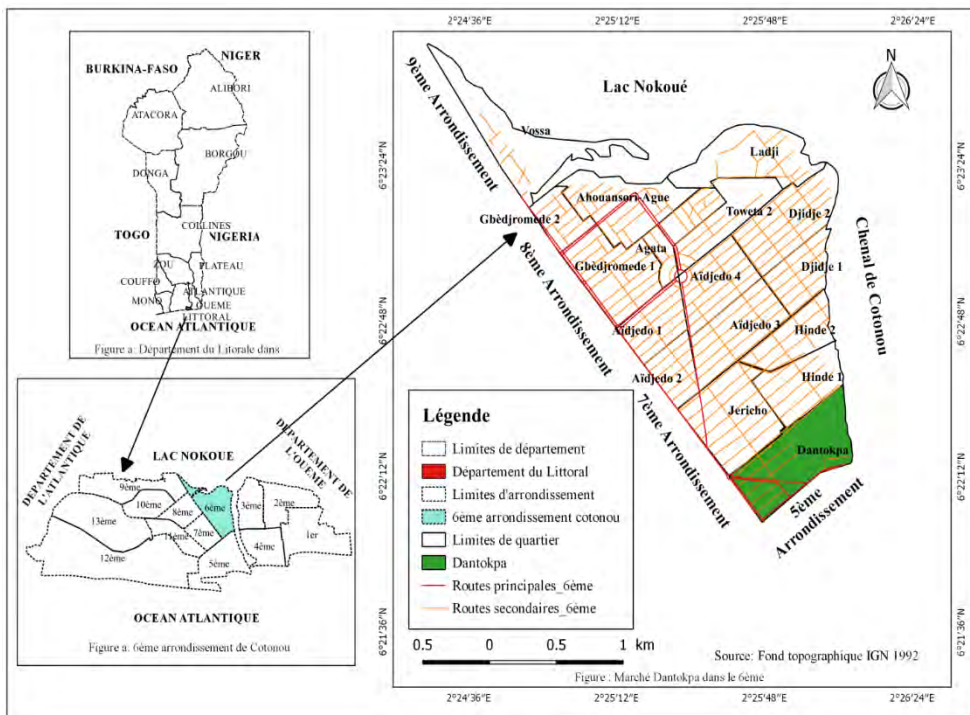


Figure 2. Carte du Marché de marché Dantokpa

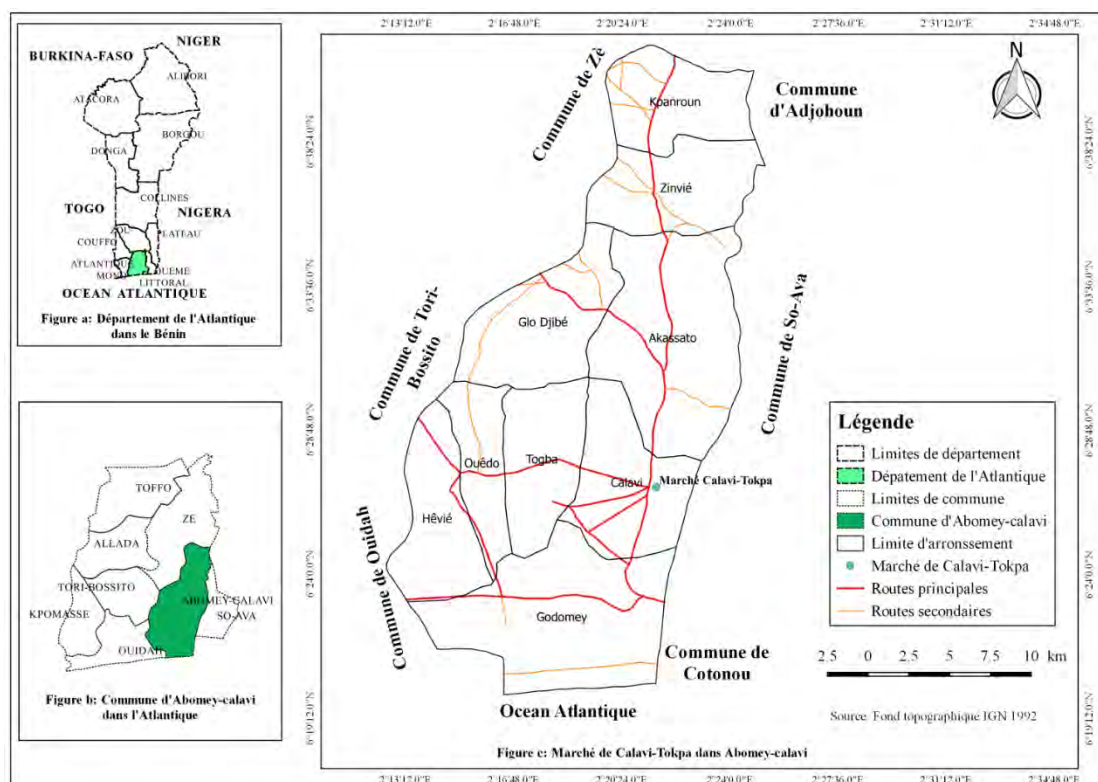


Figure 3. Carte du Marché de Calavi-kpota

2.2 Enquêtes ethnobotaniques

Les informations ont été obtenues à travers des enquêtes ethnobotaniques auprès des vendeuses des plantes médicinales desdits marchés sur la base des fiches d'enquêtes conçues à cette. Au total, 60 vendeuses ayant au moins 30 ans ont été enquêtées.

Une première phase a consisté à faire la prospection des différents marchés, afin d'établir un accord de collaboration avec les vendeuses et identifier celles traitant la maladie du Covid-19 avec les plantes médicinales. Au cours de cette phase, les informations relatives aux vertus de ces plantes ont été recensées.

Une deuxième phase d'enquête réalisée sur la base du consentement libre des enquêtés et les informations sur l'enquêté et les plantes médicinales ont été enregistrées. Des entretiens individuels ont été faits, suivant les caractéristiques ci-après : être âgés de plus de 30 ans à 95 ans (Assogbadjo *et al.*, 2008) ; avoir des connaissances traditionnelles avérées sur les recettes utilisées dans le traitement du covid-19. Le profil socioculturel de l'enquêté y compris les ethnies ont été pris en compte. Les données recueillies sur chaque plante portent sur le nom local commun, les usages, la partie utilisée dans le traitement du covid-19, le mode de préparation, les recettes, la disponibilité, ainsi que les menaces et stratégies de conservation de ces espèces, (Adomou *et al.*, 2012 ; Akouèhou *et al.*, 2016 ; Lawin *et al.*, 2019). Enfin, un herbier des échantillons des plantes

médicinales a été réalisé, afin de valider et/ou vérifier leurs noms locaux avec plusieurs enquêtés et obtenir leurs noms scientifiques. De manière globale, il a été adopté une méthodologie d'enquêtes ethnobotaniques semi-directives par interview individuel (Adomou *et al.*, 2012).

2.3 Traitement des données

Les enquêtés ont été choisis de manière aléatoire dans les grands marchés concernés par le cordon sanitaire du Bénin. La taille de l'échantillon a été estimée avec l'utilisation de l'approximation normale de la loi binomiale (Dagnelie, 1998).

$$n = \frac{U^2 \cdot \alpha p(1-p)}{d^2} \quad (1)$$

L'identification taxonomique des échantillons des plantes médicinales a été réalisée avec l'aide des botanistes de l'Herbier National du Bénin. La flore analytique du Bénin (De Souza, 1988), Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'ouest (Arbonnier, 2000.) et la flore analytique du Bénin (Akoegninou *et al.*, 2006) ont été aussi mises à contribution pour les identifications. La nomenclature des espèces utilisées a été celle de (Lebrun et Stork, 1997). Suite à l'identification, les types biologiques et phytogéographiques des espèces ont été déterminés en suivant le système de Raunkiaer (1934) adapté à la végétation tropicale (Aké Assi, 2001 ; 2002) et les types de distribution de White (1986).

A la fin de la collecte des données, nous avons procédé au regroupement des questionnaires, puis au dépouillement des fiches d'enquêtes. Ensuite, un traitement statistique s'est fait dans le tableur Excel pour présenter les différents résultats sous forme de graphes et de tableaux.

3. RESULTATS

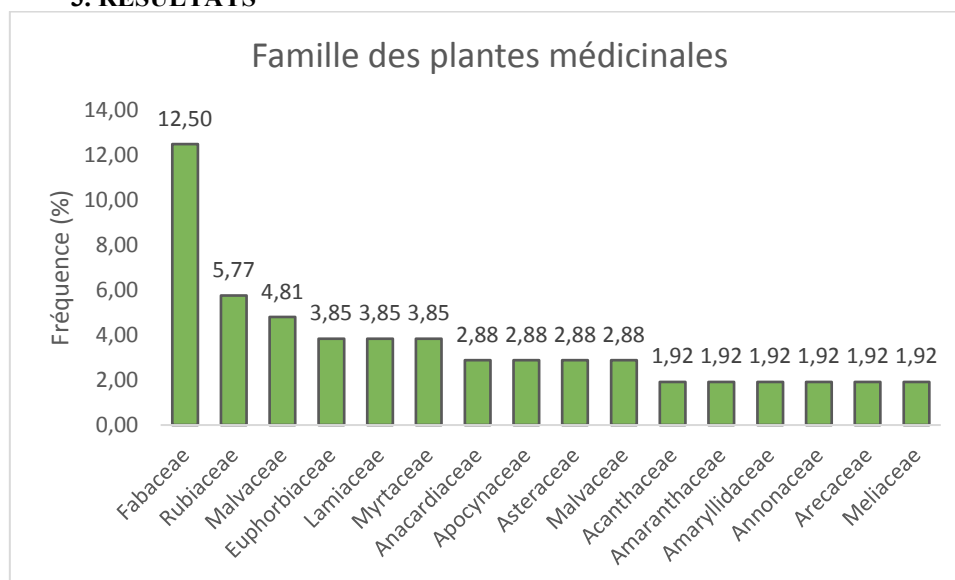


Figure 4. Mode de consommation des plantes médicinales

Les modes d'administration des plantes médicinales pour la guérison du Covid-19, les plus utilisés sont la décoction et l'alcoolature. La décoction domine avec 59 % (figure 5). Le tableau 1 (Annexe) présente les plantes utilisées dans la prévention et le traitement de la Covid-19, ainsi que les principaux organes utilisés, leurs modes de préparation et voie d'administration.

De l'analyse de la figure 6, les tiges feuillées à elle seule représentent (40%) du pourcentage total. Elles sont très utilisées dans le traitement du covid-19 viennent après les racines (27%), qui sont plus

3.1. Plantes médicinales commercialisées et utilisées pour le traitement du Covid-19

Les résultats ont montré que deux-cent-vingt-un (221) espèces appartenant à 55 familles sont utilisées dans le traitement du Covid-19. La famille la plus représentée est celle des Fabaceae (12,50 %) (figure 4).

prisées que les écorces (15%). Les organes les moins utilisés sont les bulbes (6%) et graines (3%).

Après l'analyse du graphe (figure 7, les maladies originellement traitées par les plantes médicinales désignées comme étant capable de guérir la Covid-19 sont : la prostate, le rhume, les maux de tête ou encore la sinusite, la fièvre, les infections et le paludisme. Le renforcement du système immunitaire, la fièvre, les infections et le paludisme sont les maladies les plus traitées par les plantes qui guérissent la Covid-19.

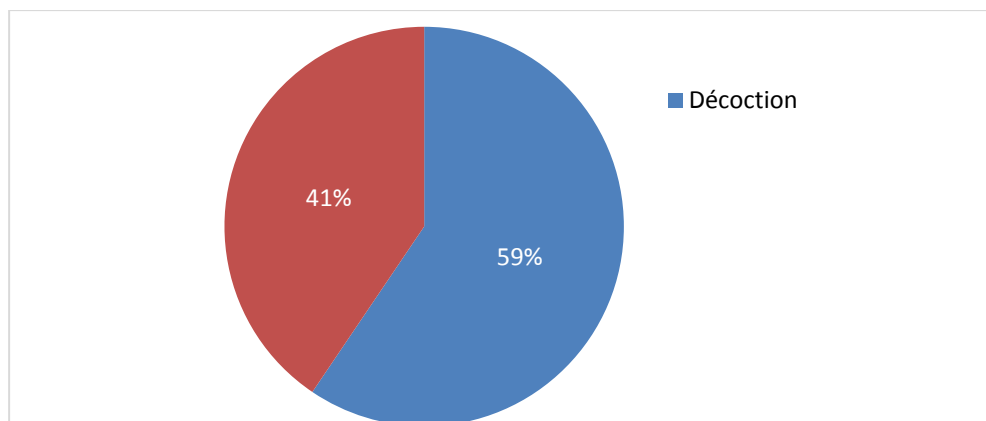


Figure 5. Mode de consommation des plantes médicinales

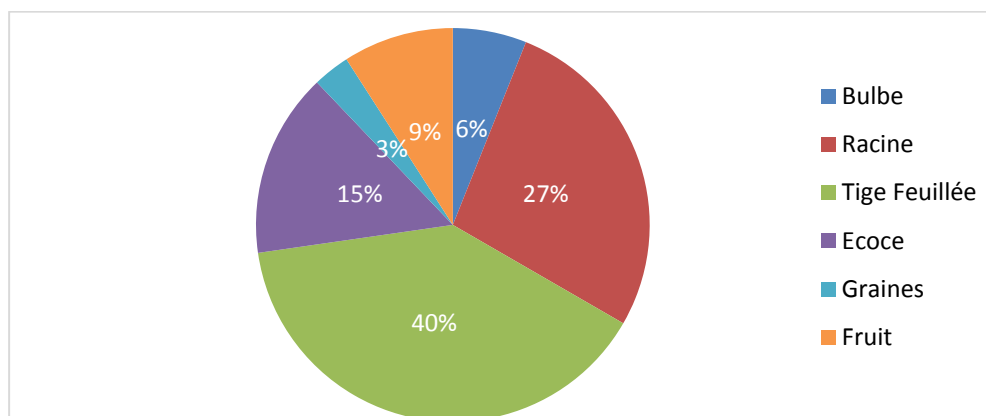


Figure 6. Organes utilisées dans le traitement de la Covid-19

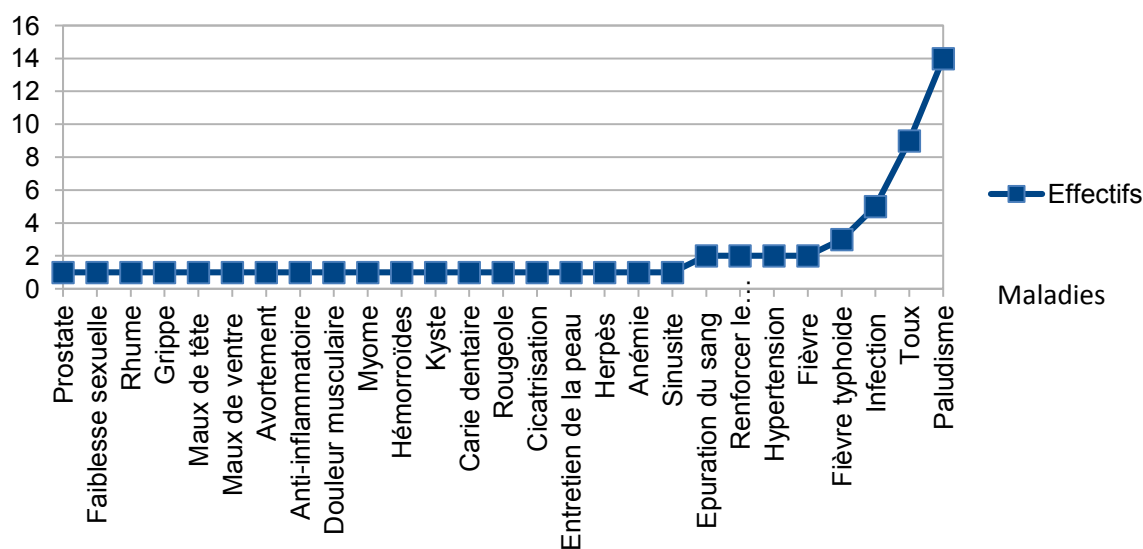
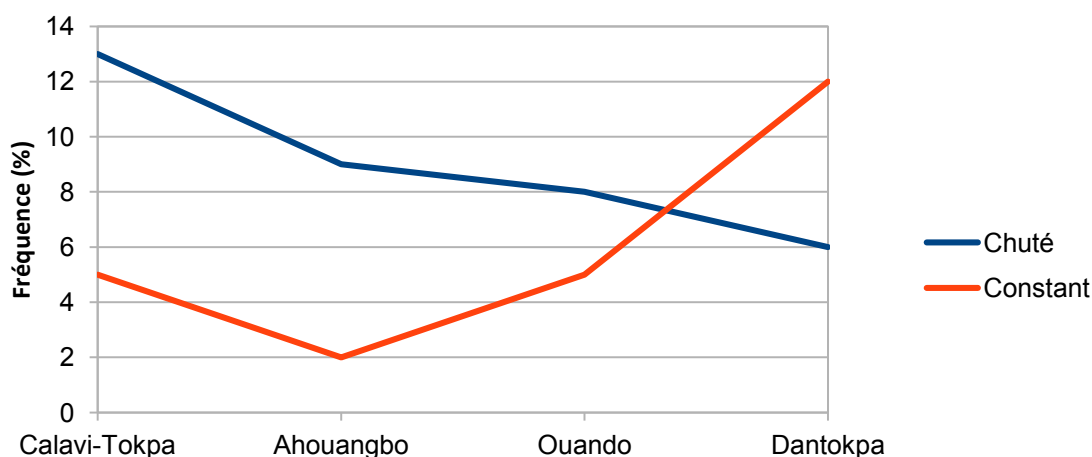


Figure 7. Maladies traitées par les plantes pouvant guérir la Covid-19

3.2. Difficulté rencontrées durant la période du covid-19 sur l'approvisionnement des plantes médicinales

La courbe de l'évolution des ventes en fonction du milieu d'étude montre que l'approvisionnement et les ventes ont beaucoup plus chuté au niveau du marché de Calavi-Tokpa tandis qu'elles sont beaucoup plus stables au niveau du marché de

Dantokpa. Quant aux marchés des Ahouangbo et Ouando, ils sont restés constants.



Courbe évolutive de l'approvisionnement et de la vente des plantes médicinales

Figure 8: Evolution des ventes en fonction du milieu d'études

4. DISCUSSION

4.1. Plantes médicinales commercialisées et utilisées pour le traitement du Covid-19

L'étude ethnobotanique réalisée par Akouehou *et al.*, 2016 (202 espèces), Kouhadé *et al.*, 2016 (272 espèces) ont permis de recenser ces nombres élevés de plantes médicinales au Bénin. Ce qui est largement supérieure à celle obtenue par Zerbo *et al.*, 2016 (79 espèces) au Burkina faso et Nouhoum (2010) au Bénin. Cette diversité de 221 espèces obtenue pour nos travaux de recherches actuels sur seulement les plantes médicinales utilisées dans le traitement du Covid-19 au Bénin. De plus, 55 familles ; avec une représentation de (12,50 %) des Fabaceae correspondent aux travaux de Nusbaumer *et al.*, 2005 (91 familles), Karkour, 2012 (34 familles) et ceux de Adomou *et al.*, 2012 (Fabaceae 21 %). En outre, les organes les plus utilisées dans le traitement du Covid-19 sont respectivement : les tiges-Feuillées, les racines, les écorces et les fruits. Ce qui correspond aux travaux scientifiques de Adomou *et al.*, 2012 et Diatta *et al.*, 2013 pour qui l'ordre d'importance part de la tige-feuillée, la racine, l'écorce, les fruits. Ces organes des plantes médicinales utilisés pour guérir la Covid-19 sont des plantes médicinales qui traitent en général les maladies telles que le paludisme, la toux, les infections, la fièvre, l'hypertension, le renforcement du système immunitaire. Ces résultats nous prouvent que le mode de traitement traditionnel du Covid-19 est symptomatique, c'est à dire fait à partir des symptômes de la maladie qui sont : la toux, le rhume, la fièvre, la fatigue, les maux de tête etc. Le rapport du Centre de recherche des Kew Gardens du 16 octobre 2020 par Camille Lafrance et le professeur Monique Simmonds utilise l'artémisia, le baobab, etc pour lutter contre le Covid-19. De plus Falila Gbadamassi de France télévision rubrique rédaction Afrique, abonde dans le même sens en utilisant ces thèmes « Du traitement du paludisme au Covid-19 ».

4.2. Rupture de stock en produits médicinaux en raison de la difficulté du ravitaillement

La source d'approvisionnement est choisie en fonction de la proximité avec le marché. On remarque également que le marché Dantokpa étant un marché régional, il sert de source d'approvisionnement pour d'autres marchés. De plus, les zones désignées comme milieux d'approvisionnement sont pour la plupart des zones rurales qui étaient hors du cordon sanitaire, donc impossible d'accès en période de cordon sanitaire. Cela a ainsi poussé les marchands à changer leurs habitudes en ce qui concerne le ravitaillement. En effet, leurs milieux d'approvisionnement ainsi que leurs méthodes ont changé. Certains se sont reconvertis sur les plantes de brousse afin de pouvoir ravitailler leurs commerces, d'autres se sont retournés dans leurs champs personnels et d'autres encore plus audacieux ont commencé à se déplacer eux-mêmes pour se ravitailler à l'aide de méthodes telles que la corruption. En somme, les plantes médicinales sont pratiquement impossibles à trouver en zones urbaines. Aussi on remarque que la plupart des zones qui étaient hors du cordon sanitaire rendaient l'approvisionnement impossible. On note également qu'il s'agit essentiellement de zones rurales, ce qui est plutôt éloigné pour des marchés qui sont situés en zones urbaines. De plus, l'urbanisation grandissante des villes entraîne de plus en plus la régression de la végétation entraînant la disparition des espèces végétales. En conclusion, les plantes médicinales sont difficiles à obtenir en zones urbaines dû à la quasi impossibilité de se ravitailler pendant le cordon sanitaire.

CONCLUSION ET SUGGESTIONS

L'analyse des données de l'impact du Covid-19 sur la commercialisation des plantes médicinales dans les marchés du sud Bénin, s'est avérée impressionnante ; car les organes les plus utilisés sont les tiges-feuillées, les racines, les fruits, les écorces et la forme pharmaceutique la plus utilisée est la décoction et

l'alcoolature et s'administrent par voie orale. En effet, la majorité des plantes commercialisées dans la pharmacopée béninoise pour traiter le Covid-19 sont des plantes qui traitent principalement le paludisme. Cependant, de tous les remèdes qui sont ressortis des analyses, aucun n'est encore officiellement reconnu par la communauté internationale comme étant véritablement capable de guérir la Covid-19. D'autre part, la période du cordon sanitaire a rendu impossible le ravitaillement en plantes médicinales au niveau des marchés, car leurs zones d'approvisionnement étaient des zones rurales qui étaient situées hors du cordon sanitaire.

En définitive, pour une amélioration des stratégies de conservation des plantes médicinales, il est nécessaire de revoir les méthodes de prélèvement et de conservation des plantes dans les zones urbaines et pour une éradication définitive de la pandémie du covid-19, il faut des études plus approfondies sur la détermination d'espèces médicinales fiables et officiellement reconnues comme étant capable de guérir le Covid-19.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Afrique conseil, Monographie de Porto-Novo, 67p. 2006.
- [2] Afrique conseil, Monographie de Cotonou, 47p. 2006.
- [3] Afrique conseil, Monographie d'Abomey-Calavi, 72p. 2006.
- [4] A E Assogbadjo, R. Glèlè kakaï, F. J Chadare., L. Thomson, T. kyndt B. Sinsin Et Van damme p., Folk classification, perception and preferences of baobab products in West Africa: consequences for species conservation and improvement. *Economic Botany*, 62(1), 74-84 p. 2008.
- [5] P. Dagnelie Statistique théorique et appliquée. Tome 2: Inférence statistique à une et à deux dimensions. Paris et Bruxelles, De Boeck et Larcier, 659p. 1998.
- [6] M. Diarra Initiation à la gestion financière des Kiosques, Manuel de Formation. Bamako: Aidemet Ong. MS/DMT/INRSP (2005). Politique Nationale de Médecine Traditionnelle'. Bamako. 12p. 2011.
- [7] S. De Souza, Flore du Bénin. Tome 3. UNB. Bénin 424p. 1988-
- [8] Diatta Cheikh Daouda, Gueye Mathieu et Akpo Leonard Elie, Les plantes médicinales utilisées contre les dermatoses dans la pharmacopée Baïnouk de Djibonker, Sénégal. *Journal of Applied Biosciences* 70: 5599– 5607p 2013.
- [9] C.D. Diatta et al. Les plantes médicinales utilisées contre les dermatoses dans la pharmacopée Baïnouk de Djibonker, Sénégal, article, P 5599-5607. 2013.
- [10] INSAE, 3ème Recensement de la population, 48p. 2002.
- [11] Akoegninou et al. Flore analytique du Bénin, 1063p. 2006.
- [12] L. Karkour La dynamique des mauvaises herbes sous l'effet des pratiques culturales dans la zone des plaines intérieures. Diplôme de Magister, Option: Production Végétale et Agriculture de Conservation. Mémoire. Département des sciences agronomiques. 159p. 2012.
- [13] A. S. Kouchade, A. C. Adomou, G. M. Tossou, H. Yedomonhan G. H. Dassou ET A. Akoegninou Étude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans le traitement des maladies infantiles et vendues sur les marchés au sud du Bénin. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 2016. Vol.28, Issue 2: 4418-4438. Publication date 1/04/2016, <http://www.m.elewa.org/JAPS>; ISSN 2071-7024. 2016.
- [14] J.-P. Lebrun & L. A. Stork Enumération des plantes à fleurs d'Afrique tropicale. Conservatoire et Jardin Botanique de la ville de Genève. 1991-; 1992-; 1993-; 1994-; 1995-; 1996- et 1997.
- [15] Ministre de l'intérieur, Communiqué au sujet du cordon sanitaire-coronavirus, 27 mars 2020.
- [16] S. Nouhoum Etude ethnobotanique des plantes médicinales vendues au marché Dantokpa de Cotonou (Bénin). Mémoire de Licence, EPAC, Univ. d'Abomey-Calavi, Bénin. 2010.
- [17] L. Nusbaumer, L. Gautier, C. Chatelain & R. Spichiger Structure et composition floristique de la Forêt Classée du Scio (Côte d'Ivoire). Etude descriptive et comparative. ISSN: 0373-2967. *Candollea*, 60(2): 393-443p. 2005.
- [18] M. Moeti La médecine traditionnelle peut contribuer à une couverture santé universelle en Afrique, revue de presse, le monde Afrique. 2019.
- [19] OMS. Promotion du rôle de la médecine traditionnelle dans le système de santé: stratégie de la Région Africaine. Harare: Bureau Régional pour l'Afrique. 151p. 2001.
- [20] C. Raunkiaer The life forms of plants and statistical plant geography. Clarendon presse. Oxford. 632 p. 1934.
- [21] P. Zerbo, J. Millogo-rasolodimby O. Nacoulma-ouedraogo et P. Van damme Contribution à la connaissance des plantes médicinales utilisées dans

les soins infantiles en pays San, au Burkina Faso. International Journal Biological and Chemical Sciences 1(3): 262-274. International Formulae Group. All rights reserved. Available online at <http://www.ajol.info>. ISSN 1991-8631p. 2016.

Webographie

https://www.who.int/topics/traditional_medicine/definitions/fr/ (Consulté le 21/10/2020 à 15h44)

http://french.xinhuanet.com/2017-11/18/c_136761112.htm (Consulté le 20/10/2020 à 14h39)

<https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019> (Consulté le 21/10/2020 à 15h57)

<https://www.who.int/fr/health-topics/coronavirus/coronavirus> (Consulté le 21/10/2020 à 22h27)

https://www.who.int/fr/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/q-a-detail/q-a-coronaviruses?gclid=Cj0KCQjwuL_8BRCXARIsAGiC5_1AjVoJuHfD_p0KGRnMpbJU-t0JGbrfgd2rpNbHkotYnM19Es2aDy8aAsTZEALw_wcB (Consulté le 21/10/2020 à 22h31)

ANNEXE. Plantes médicinales commercialisées et utilisées pour le traitement du Covid-19:

Nom Scientifique	Famille	Organes Utilisés	Maladie traitées
<i>Allium sativatum</i>	Amaryllidaceae	Bulbe	Toux, Fièvre typhoïde, Purifier le sang
<i>Allium cepa</i>	Amaryllidaceae	Bulbe	Prostate, Épuration du sang, Renforce le système immunitaire
<i>Zingiber officinale</i>	Zingiberaceae	Racines	Faiblesse sexuelle, Hypertension, Toux
<i>Ocimum gratissimum</i>	Lamiaceae	Tige feuillée	Rhume, Grippe
<i>Moringa oleifera</i>	Moringaceae	Tige feuillée	Paludisme, Renforcer le système immunitaire, Maux de tête
<i>Sarcocephalus latifolius</i>	Rubiaceae	Racines	Paludisme, Maux de ventre, Avortement
<i>Azara indica</i>	Meliaceae	Ecorce Tige Feuillée	Paludisme, Maux de ventre, Avortement
<i>Artemisia annua</i>	Asteraceae	Tige feuillée	Paludisme, Maux de ventre, Avortement
<i>Phyllanthus amarus</i>	Euphorbiaceae	Tige feuillée	Paludisme, Maux de ventre, Avortement
<i>Vernonia amygdalina</i>	Asteraceae.	Tige feuillée	Paludisme, Maux de ventre, Avortement
<i>Eugenia aromatica</i>	Myrtaceae	Graines	Anti-inflammatoire, Douleur musculaire, Infection urinaire, Toux
<i>Capsicum annum</i>	Solanacées	Fruit	Aphrodisiaque, Renforce le système immunitaire
<i>Khaya senegalensis</i>	Meliaceae	Ecorce	Paludisme, Maux de ventre, Avortement
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Myrtaceae	Ecorce	Paludisme, Toux, Infection, Fibromes, Hémoroides, Protection
<i>Vitex doniana</i>	Lamiaceae	Racines	Paludisme, Maux de ventre, Avortement
<i>Xylopi aethiopica</i>	Annonaceae	Fruit	Fièvre
<i>Monodora myristica</i>	Annonaceae	Racines et Fruit	Infection, Kyste, Fibrome, Myome
<i>Zanthoxylum zanthoxyoides</i>	Rutaceae	Racines	Infection, Carie dentaire
	Racines	Paludisme	
<i>Ehretia cymosa</i>	Boraginaceae	Racines	Fièvre
<i>Coco nucifera</i>	Arecaceae	Racines	Paludisme
<i>Ocimum canum</i>	Lamiaceae	Tige Feuillée	Toux, Rougeole, Infection
<i>Aloe vera</i>	Aloeaceae	Tige Feuillée	Cicatrisation, Entretien de la peau, herpès génital, Constipation, Pouvoir mystique, Paludisme
<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	Ecorce	Anémie, Toux
<i>Kalankoe crenata</i>	Crassulaceae	Tige Feuillée	Toux

Nom Scientifique	Famille	Organes Utilisés	Maladie traitées
<i>Microsorium scolopendria</i>	Polypodiaceae	Tige Feuillée	Paludisme
<i>Securidaca songepedunculata</i>	Polygalaceae	Racine	Toux, Sinusite
<i>Senna siamea</i>	Fabaceae	Tige Feuillée Ecorce Racine	Paludisme, Hypertension, Fièvre typhoïde
<i>Costus afer</i>	Zingiberaceae	Tige-Feuillée	Paludisme
<i>Melaleuca leucadendron</i>	Myrtaceae	Tige-Feuillée	Toux

INFORMATIQUE ET GESTION

Caractérisation des entreprises de fabrication de tourteau de coton du Mali

Sékou M Cissé^{1*}, Seydou Sidibé¹ Hamidou Nantoumé^{1*}

¹Institut d'Economie Rurale, Mali

* Corresponding author's email address: hamidou.nantoume@yahoo.fr

RÉSUMÉ: Le Mali est un pays à vocation agro-sylvo-pastorale. L'élevage est pratiqué par la majorité de la population rurale. Les animaux sont alimentés principalement par les fourrages pauvres. Pour maintenir un niveau de production animale acceptable, l'apport d'un supplément alimentaire de valeur nutritive élevée est nécessaire. De nombreuses études ont été menées sur la composition chimique et l'utilisation dans l'alimentation animale du tourteau de coton, ce coproduit issu de la trituration des graines de coton. Cependant, force est de constater que très peu de données existent sur les mécanismes de fonctionnement et de production des unités d'extraction d'huile d'où provient ce tourteau de coton. L'objectif de cette étude est caractériser les unités d'extraction d'huile de coton pour mieux comprendre leur fonctionnement et le processus de production de tourteau de coton au Mali. Une enquête a été menée dans cinquante-neuf entreprises de production de tourteau de coton du Mali. Les paramètres étudiés ont été la répartition géographique, l'âge de l'usine, la capacité de transformation, la quantité de gaines transformées, la production moyenne annuelle de tourteau produit, la durée de fonctionnement moyenne annuelle et le nombre de ses employés. Une analyse de description et de classification a été effectuée sur la base des paramètres étudiés. Les usines ont ensuite été groupées dans un dendrogramme. L'analyse des données de l'étude a montré que plus de 60% des usines sont localisées dans la région de Sikasso et emploient plus de 5 000 personnes. Elles ne fonctionnent que durant 2 à 10 mois dans l'année par insuffisance de graines de coton. Il existe une corrélation négative entre ces durées de fonctionnement et l'âge des usines (-0,02). L'étude a aussi révélé que tous les tourteaux de coton produits au Mali sont obtenus par pression sur la graine de coton sans décorticage préalable. Les usines se répartissent en petites (46,6 %), moyennes (27,6%) et grandes (25,9%) entreprises de production de tourteau de coton.

Mots-clés: Tourteau de coton, Typologie, Mali

I. INTRODUCTION

Le Mali est un pays à vocation agro-sylvo-pastorale. L'élevage est pratiqué par 80% de la population rurale. 12 111 128 bovins, 19 183 500 ovins, 26 486 240 caprins, 584 184 équins, 1 144 336 asins, 1 241 093 camelins, 86 182 porcins et 49 617 572 volailles [1]. Les animaux sont alimentés principalement par les fourrages pauvres. Il en résulte des difficultés qui se manifestent par des pertes de productions et de performances reproductives pendant la saison sèche chez la plupart des ruminants. Il devient nécessaire de combler ces pertes par un apport d'aliments couvrant les besoins d'entretien et de productions des animaux. Le tourteau en général et celui du coton en particulier est un aliment de choix pour les animaux d'élevage au Mali à cause de la grande production de cette oléagineuse se distinguant par sa valeur nutritive (énergétique et protéinique) très élevée.

Au Mali, le coton est la principale culture industrielle. Sa culture contribue à hauteur de 40% du PIB réel et occupe plus de 70% de la population totale. Jusqu'à la campagne 2004-2005, le pays tirait près de 45% de ses recettes d'exportation du coton dont il était le premier producteur en Afrique subsaharienne, contre moins de 30% de nos jours [2]. Les régions de Koutiala et Sikasso sont les principales zones de production. Avec l'importance que revêt la graine de coton, le Mali interdit son

exportation [3] et le privilégie avec son tourteau pour couvrir les besoins locaux de l'élevage.

Des études anciennes conduites par Kassambara (1983) [4] et récentes menées par Nantoumé et al (2016) [5] montrent que la valeur protéinique des tourteaux de coton avait diminué presque de moitié (40-45% vs 20-25%). Le constat fait est que la première étude a été réalisée avec du tourteau obtenu à partir de la graine de coton décortiquée donc dépourvue de son linter et de sa coque qui sont des constituants celluloseux, dépresseurs de la valeur nutritive. La transformation industrielle d'une tonne de graine de coton produit environ 200 kg d'huile 300 kg de coque et 500 de tourteaux [6].

Cependant, force est de constater que très peu de données existent sur les mécanismes de fonctionnement et de production des unités d'extraction d'huile d'où provient le tourteau de coton. L'optimisation de la qualité du tourteau de coton pour son utilisation efficace dans l'alimentation des animaux nécessite d'abord d'accroître les connaissances sur les mécanismes de fonctionnement et les méthodes de production de tourteau des unités de trituration des graines de coton. Cette étude a pour objectif général d'optimiser la production du tourteau de coton à travers une analyse des paramètres de production et une typologie

(caractérisation) des unités de production de tourteau de coton du Mali.

II. MATERIEL ET METHODES

La présente étude a été menée sous forme d'une enquête par le Laboratoire de Nutrition Animale de l'Institut d'Economie Rurale, grâce à un financement du Fonds Compétitif pour la Recherche et l'Innovation Technologique (FCRIT) du Gouvernement du Mali. Elle a consisté en l'administration d'un questionnaire aux responsables des usines partenaires entre mi-mars et mi-avril 2019.

La liste des producteurs de tourteau de coton, obtenues au niveau de la Direction Nationale des Industries et celle des membres de la Fédération Nationale des Producteurs d'Huile d'Aliment de Bétail du Mali ont permis l'identification de la plupart des usines de production. Des questionnaires ont ainsi été soumis aux responsables des usines de production de tourteau de coton dont les responsables étaient prêts à collaborer. Ces infrastructures sont localisées dans les régions de Bamako, Bougouni, Dioila, Koulikoro, Koutiala, San, Ségou et Sikasso. Les informations collectées sont des variables caractéristiques des usines de production de tourteaux. Elles ont concerné la répartition géographique, les quantités de graines de coton transformées, la production de tourteau de coton, l'âge, la capacité de production, la méthode d'extraction d'huile, la durée de fonctionnement moyen annuel, le nombre des employés et les principales difficultés des usines liées à cette activité.

Les données ont été saisies sur Excel et analysées avec le logiciel SPSS en fonction des variables caractéristiques des usines de production de tourteaux. Une matrice permettant de déterminer le niveau de corrélation des différentes variables étudiées a été établi avec le logiciel SPSS. La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) qui est une méthode de classification automatique a été utilisée pour classer les entreprises selon les ressemblances et selon le nombre de classes d'intérêt de l'étude. Elle a été suivie d'une analyse de classification sur les variables caractéristiques des usines.

III. RESULTATS

3.1. Caractérisation des entreprises de fabrication de tourteau de coton du Mali

3.1.1. Répartition géographique

L'enquête a permis de visiter cinquante-neuf usines fonctionnelles. La répartition des usines en effectifs et en pourcentage par région selon le récent découpage administratif est détaillée dans la Figure 1. Les résultats montrent que 28 usines soit 47% sont situées dans la région de Koutiala. La deuxième région densément occupée par les usines de production de tourteau de coton est Sikasso avec 9 usines (15,3%) pendant que la région de Bougouni

n'en détient qu'une usine (1,7%). Toutefois, les données de trois usines fonctionnelles (une usine de Ségou, une de Koulikoro et une de Mopti) n'ont pas été obtenues.

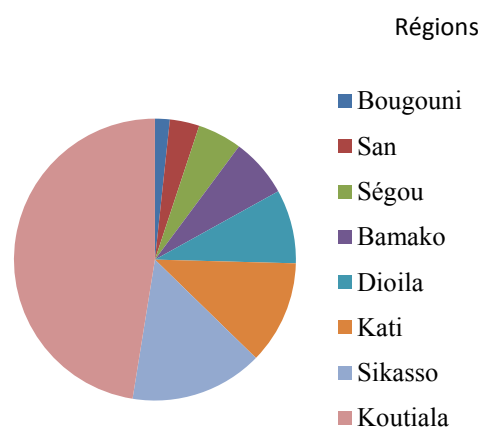


Figure 1. Population de l'étude et taille de l'échantillon

3.1.2. Age des usines

La moyenne d'âge des usines de production de tourteau de coton du Mali est de 8 ans. Trois unités, dont 2 situées à Koutiala et le dernier à Kati (Sanankoroba), sont à leur première campagne. La plus ancienne unité de production de tourteau de coton rencontrée lors de l'enquête est située dans la zone industrielle de Bamako et a 17 ans d'existence.

3.1.3. Quantités de graines transformées, méthode d'extraction d'huile et capacités de production de tourteaux

Les quantités de graines de coton transformées au Mali durant les campagnes 2017, 2018 et 2019 sont en moyenne de 6 327 tonnes / an / usine. Durant cette période, l'usine ayant utilisée la plus petite quantité (233 t / an) est située à Dioila. La plus grande quantité de graine de coton (28 667 t / an) a été transformée par une usine de Koutiala.

Toutes les huileries visitées disposent de presses et n'utilisent que la pression comme seul moyen d'extraction de l'huile. Deux huileries situées à Koutiala disposent en plus des presses, de décortiqueuses avec des capacités de production journalière respective de 50 à 800 tonnes. En conséquences, seules deux usines ont le potentiel de produire du tourteau de coton à partir de la graine de coton décortiquée.

La capacité de production totale de tourteau est de 8 437 tonnes par jour avec une moyenne de 150,7 tonnes par jour et par usine. La plus grande huilerie a une production journalière estimée à 800 t / jour alors que la plus petite ne peut produire que 5,5 t/jour.

3.1.4. Nature des produits

Il est apparu que tous les tourteaux de coton produits au Mali sont issus de graines de coton non décortiquées. Même les deux usines disposant des décortiqueuses ne les utilisent pas. Les huileries commercialisent le tourteau de coton comme produit, excepté une usine située à Koutiala qui le vend uniquement sous forme de mélange avec d'autres ingrédients. Deux autres entreprises situées dans cette même ville commercialisent en même temps le tourteau comme produit et l'utilisent également comme ingrédient dans la composition d'un aliment animal.

3.1.5. Prix de vente de la graine et du tourteau de coton

Le prix de vente de la graine de coton varie d'une année à une autre. Cette année (2019), la graine locale a coûté 106 200 FCFA la tonne à la CMDT. Le prix de la graine de coton est aussi fonction de sa provenance qui peut être la Côte d'Ivoire, le Burkina Faso, la Guinée Conakry, le Bénin ou le Togo. La graine importée a coûté en moyenne $137\,227 \pm 8\,710$ FCFA la tonne.

Le prix du tourteau de coton a fluctué en fonction de sa demande sur le marché et de sa provenance. Le tourteau de coton importé est en général de meilleure qualité car obtenu à partir de la graine de coton décortiquée et a coûté plus cher. Son prix moyen a été d'environ 200 000 FCFA. La tonne du tourteau de coton local a été vendue entre $118\,663 \pm 8\,623$ FCFA et $142\,646 \pm 15\,569$ FCFA la tonne.

3.1.6. Durée de fonctionnement et nombre d'employés

Aucune usine ne fonctionne à plein temps. Par insuffisance de matière première (graine de coton), la plupart de ces huileries travaillent en moyenne pendant 6 mois dans l'année avec une fourchette comprise entre 2,5 et 9,5 mois.

En 2019, les unités de transformation ont employé au total 5 079 travailleurs dont 4 081 saisonniers. La moyenne arithmétique est de 86 travailleurs par usine avec un effectif variant dans une fourchette située entre 21 et 400 travailleurs. La moyenne de travailleurs saisonniers par usine est 68 ± 66 . La fourchette varie entre 14 et 400 travailleurs.

3.1.7. Difficultés liées à la production du tourteau de coton

Les principales difficultés auxquelles sont confrontés les producteurs de tourteau de coton ont été déterminées et hiérarchisées dans la Figure 2. L'approvisionnement insuffisant en graines de coton a été signalé comme une contrainte majeure par 83,1 % des responsables des usines enquêtées (Figure 1). Cette contrainte est relative non seulement à l'insuffisance mais aussi au prix élevé de la graine de coton. A ses difficultés s'ajoutent les charges élevées

dues à l'importation de la graine pour combler le déficit national.

Concernant la fourniture d'électricité deux difficultés ont été signalées. Le coût élevé du kilowattheure évoqué par 49,2% des responsables des usines car il est vendu au même tarif qu'aux ménages. L'irrégularité dans l'approvisionnement en électricité a été signalée par 32,2% des usines (Figure 2).

Les autres difficultés évoquées (37,3%) sont : absence d'accompagnement véritable de l'état et de mécanisme d'appui aux entreprises en difficultés, problèmes de trésorerie, non fiabilité des systèmes bancaires, taux d'intérêt des banques élevé, nombre d'agrément délivré élevé, vente du tourteau de coton à l'avance aux commerçants pour financer l'achat des graines de la campagne suivante, mévente du tourteau de coton malien en Mauritanie en 2018 à cause de la présence du tourteau de coton brésilien, mévente du tourteau de coton lors des saisons de pluie précoces, trop de taxes et d'impôts, frais élevés pour l'importation des graines de coton.

Malgré les contraintes et difficultés ci-dessus citées, 94,9 % des responsables des huileries enquêtées estiment que la transformation de la graine de coton reste une activité rentable.

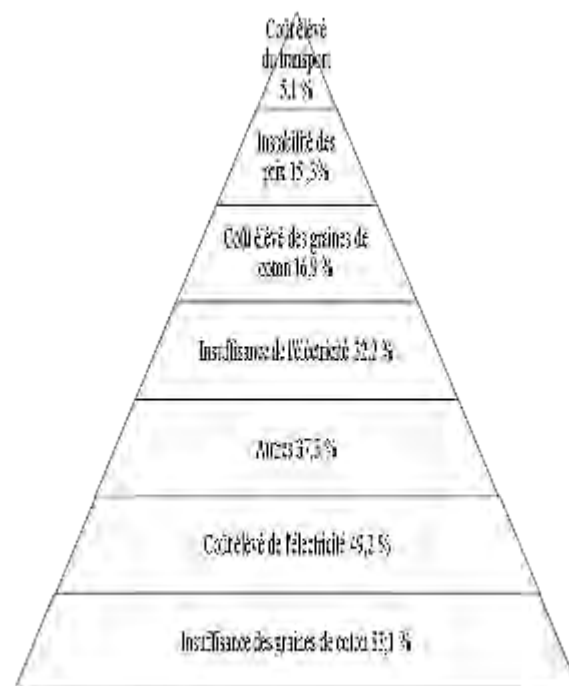


Figure 2. Hiérarchisation des principales difficultés liées à la production du tourteau de coton en fonction des réponses des responsables des usines enquêtées

3.2. Typologique des entreprises de fabrication de tourteau de coton du Mali

3.2.1. Matrice de corrélation des usines

L'étude de la typologie permet de connaître les différentes sortes d'entreprises de production de

tourteau de coton du Mali. La matrice de corrélation des différents paramètres étudiés a permis de déterminer le niveau de corrélation entre eux (Tableau 1). Ainsi, de fortes corrélations ont été observées entre la capacité de transformation des usines et les emplois totaux (0,73) de même qu'avec les emplois saisonniers (0,74). Une corrélation négative a aussi été constatée entre l'âge des usines et la durée de fonctionnement annuel (-0,02).

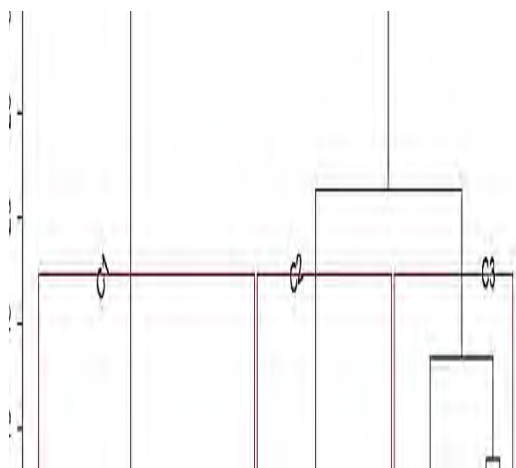
Tableau 1: Matrice de corrélation des usines

Vari a	Age	capa	Gr	Fonc	Em_ T	Em_ S
Age	1,00	0,26	0,31	-0,02	0,40	0,45
capa	0,26	1,00	0,25	0,26	0,73	0,74
Gr	0,31	0,25	1,00	0,45	0,39	0,40
Fonc	-0,02	0,26	0,45	1,00	0,28	0,24
Em_ T	0,40	0,73	0,39	0,28	1,00	0,96
Em_ S	0,45	0,74	0,40	0,24	0,96	1,00

Légende : Varia : variables ; capa: Capacité de transformation; Gr : Quantité de graine transformée ; Fonc : Durée de fonctionnement moyen annuel ; Em_T : Nombre d'employés total; Em_S : Nombre d'employés saisonniers.

3.2.2. La Classification Ascendante Hiérarchique CAH

Les usines de production de tourteau de coton du Mali ont ainsi été regroupées dans une des trois classes (C1, C2 et C3) à partir de la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) (Figure 3).



Légende : Us : Usine ; C : Classe=Groupe

Figure 3. : Dendrogramme de classification typologique des usines de production de tourteau de coton du Mali

La répartition des usines est représentée dans le tableau suivant (Tableau 1.) en respectant l'anonymat des usines.

Tableau 2: Répartition des usines dans les groupes

Groupe	Identification usines
C1	Us1, Us2, Us3, Us4, Us7, Us9, Us10, Us11, Us14, Us15, Us20, Us22, Us24, Us26, Us28, Us30, Us33, Us34, Us41, Us46, Us47, Us48, Us49, Us50, Us51, Us55, Us58, Us59
C2	Us5, Us8, Us12, Us13, Us16, Us25, Us29, Us35, Us42, Us44, Us45, Us52, Us53, Us54, Us56, Us57
C3	Us6, Us17, Us18, Us19, Us21, Us23, Us27, Us31, Us32, Us36, Us37, Us38, Us39, Us40, Us43

Légende : Us = Usine de production de tourteau de coton

3.2.2.1. Groupe 1: Petites entreprises de fabrication de tourteau de coton du Mali

Elles sont les plus nombreuses. L'enquête a permis d'en identifier 27 soit 46,6 % des entreprises ayant participé à l'enquête. Les petites entreprises existent en moyenne depuis $4 \pm 2,3$ ans. Leur capacité de transformation est de $64,2 \pm 57,2$ tonnes de graines de coton / jour. Elles ont utilisé annuellement en moyenne $2\ 685,9 \pm 2\ 444$ tonnes de graines de coton durant les années 2016 à 2018. Elle a été acquise durant la campagne 2018 en moyenne à $111\ 593 \pm 9\ 173$ FCFA. Elles ont vendu le tourteau de coton à $129\ 148 \pm 14\ 208$ FCFA. Elles ont fonctionné annuellement en moyenne $5,5 \pm 1,1$ mois et ont employés au total 41 ± 20 personnes dont 32 ± 16 saisonniers. La production moyenne par usine a été de $1\ 751$ tonnes/an de tourteau de coton.

6.2.2.2. Groupe 2: Entreprises moyennes de fabrication de tourteau de coton du Mali

L'enquête a permis d'en identifier 16 soit 27,6 % des entreprises ayant participé à l'enquête. Elles existent en moyenne depuis $13,2 \pm 2,2$ ans. Leur capacité de transformation est de $94,0 \pm 72,0$ tonnes de graines de coton / jour. Elles ont utilisé annuellement en moyenne $5\ 682,3 \pm 3\ 856,2$ tonnes de graines de coton durant les années 2016 à 2018. Les graines ont été acquises à $112\ 474 \pm 7\ 135$ FCFA en 2018. Elles ont vendu le tourteau de coton à $128\ 772 \pm 10\ 244$ FCFA. Elles ont fonctionné annuellement en moyenne $5,4 \pm 0,6$ mois et ont employés au total 76 ± 34 personnes dont 66 ± 29 saisonniers. La production moyenne annuelle (de 2016 à 2018) par usine a été de $4\ 278$ tonnes de tourteau de coton.

6.2.2.3. Groupe 3: Grandes entreprises de fabrication de tourteau de coton du Mali

Les grandes entreprises sont les moins nombreuses. L'enquête a permis d'en identifier 15 soit 25,9 % des entreprises ayant participé à l'enquête. Elles existent en moyenne depuis $8,9 \pm 5,1$ ans. Leur capacité de transformation est de $355,3 \pm 374$ tonnes de graines de coton / jour. Elles ont utilisé annuellement en

moyenne $13\,284,3 \pm 8\,405$ tonnes de graines de coton durant les années 2016 à 2018. Cette graine a été achetée en 2018 à $114\,697 \pm 8\,608$ FCFA. Elles ont vendu le tourteau de coton à $129\,208 \pm 6\,895,9$ FCFA. Elles ont fonctionné annuellement en moyenne $7,2 \pm 1,4$ mois et ont employés au total 178 ± 102 personnes dont 140 ± 92 saisonniers. Durant les années 2016 à 2018, ces usines ont produit en moyenne $9\,210$ tonnes/an de tourteau de coton.

IV. DISCUSSION

La concentration des huileries dans les régions de Koutiala et Sikasso se justifie par le fait qu'elles constituent la principale zone de production du coton. Cette zone remplit les conditions bioclimatiques favorables à la production optimale de coton. Pour minimiser les coûts de transport, les huileries ou les entreprises de production de tourteau de coton sont localisées dans les zones de grande production de coton où se trouvent en plus les grandes usines d'égrenage du coton.

La tendance du nombre d'huilerie semble à la baisse actuellement avec beaucoup d'huileries qui sont non fonctionnelles. La graine de coton qui constitue 50% du coton fibre après égrenage était répartie entre les semences (10%) et l'huilerie cotonnière du Mali (90%) [2], créée en 1979. Déjà, vers les années 1990, la graine devenait encombrante au niveau des usines d'égrainage car HUICOMA (huilerie cotonnière du Mali) étant la seule huilerie, ne disposait plus de capacités suffisantes pour transformer toute la graine. La privatisation de HUICOMA suivie de sa fermeture ont accéléré la multiplication des huileries. Une enquête menée en 2007 avait constaté une prolifération des « huileries artisanales » (120 unités au total) [7]. En conséquence, les huileries ne pouvaient travailler que pendant une courte période (3 à 4 mois) faute de matière première entraînant à la fois le chômage technique dans certaines entreprises.

De nos jours, une Fédération Nationale des Producteurs d'Huile et d'Aliment Bétail (FENAPHAB) a été mise en place. Elle est opérationnelle, très active et regroupe la majorité des unités de trituration des graines de coton.

HUICOMA, depuis sa création en 1979 offrait deux produits phares issus de la transformation de la graine de coton, destinés à l'alimentation animale. Le premier produit était constitué à 100% de tourteau de coton obtenu à partir de la graine de coton décortiquée avec le label « Tourteaux ». Le deuxième était constitué d'un tiers de tourteau de coton et de deux tiers de coques de graines de coton et portait le label « Aliment Bétail Huicoma ». Déjà, vers les années 1990, la graine devenait encombrante au niveau des usines d'égrainage car HUICOMA (huilerie cotonnière du Mali) étant la seule huilerie, ne disposait plus de capacités suffisantes pour

transformer toute la graine. En 2000, il existait déjà plus d'une quarantaine d'huileries privées.

L'extraction de l'huile se faisait soit par l'utilisation de solvants organiques (HUICOMA) soit par pression FAMAB (Fabrique Malienne d'Aliments du Bétail) à partir de la graine de coton entière (FAMAB) et décortiquée (HUICOMA). La privatisation suivie de la fermeture des principales usines (HUICOMA, FAMAB) ont accéléré la multiplication des huileries privées.

La présente étude a montré que la totalité des usines produisent le tourteau de coton sous presse en utilisant la graine de coton non décortiquée. Ce procédé de fabrication du tourteau marqué par la non séparation des graines et des coques, qui est une pratique répandue au Mali, a pour conséquence la réduction de la valeur nutritive du produit. Les coques et les linters de la graine de coton sont des matériaux très celluloseux contenant respectivement 53% et 86% de cellulose et par conséquent dépresseurs de la valeur nutritive.

Une politique de répartition de la graine de coton aux huileries a été instaurée sous la tutelle du ministère de l'industrie et du commerce qui établit chaque campagne la liste des unités agréées de transformation pour l'achat de la matière première au niveau de la CMDT. C'est ainsi que, depuis la campagne 2008-2009, le prix de la tonne de graine a connu un niveau record fixé à 101 000 F.CFA. Le prix de la graine locale fournie par la CMDT est passé de 59 000 FCFA en 2008 [7] à 106 200 FCFA en 2018. La présente étude a montré que la graine de coton importée coûtait 120 000 FCFA en 2007 [7] contre $137\,227 \pm 8\,710$ FCFA la tonne en 2018.

Les hausses de prix du tourteau de coton local constatées en 2007 semblent se maintenir. En effet le prix moyen (129 055 FCFA) observé lors de la présente enquête de 2019 est proche des prix de cession de 2007 [7]

Aucun mécanisme de contrôle de la qualité des tourteaux de coton produits n'a été constaté au cours de l'enquête. Cependant, en ce qui concerne les huiles alimentaires issues de la trituration des graines de coton [2], toutes les usines disposent d'un mécanisme de contrôle.

A la suite de la présente enquête, 49,2 % des responsables des unités de trituration des graines de coton estiment que cette contrainte est encore d'actualité. Le coût élevé de l'électricité avait déjà été identifié comme une contrainte majeure par les acteurs de l'égrenage et de la transformation du coton et de ses coproduits[2].

V. CONCLUSION

Il ressort de la présente étude que tous les tourteaux de coton produits actuellement au Mali sont obtenus par simple pression sur les graines de coton non décortiquées. Cette production de tourteau de coton est certes rentable, mais les usines sont confrontées à des difficultés énormes dont l'insuffisance et l'irrégularité dans le ravitaillement en matière première, les charges élevées d'importation de la graine de coton et le coût élevé de l'électricité, etc...

L'analyse des différents paramètres étudiés a permis de grouper les usines dans un dendrogramme où trois grands types d'usines avec des caractéristiques spécifiques ont été identifiés : de petites usines (46,6 %), de moyennes (27,6%) et de grandes (25,9%). Les grandes entreprises fonctionnent durant plus de temps dans l'année, emploient plus de personnel permanent et temporaire, utilisent plus de graines de coton et donc produisent plus de tourteau de coton que les moyennes entreprises. Ces paramètres sont en outre plus élevés chez les moyennes comparées aux petites entreprises de production de tourteau de coton.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Gouvernement du Mali pour le financement de cette étude à travers le Fonds Compétitif pour la Recherche et l'Innovation Technologique (FCRIT). Ces remerciements vont au Comité National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST) pour son support multiforme et à tous ceux qui ont contribué à la réussite de cette étude, spécialement la Fédération Nationale des Producteurs d'Huile d'Aliment de Bétail du Mali et les responsables des usines partenaires.

REFERENCES

- [1] Direction Nationale des Productions et des industries Animales (DNPIA), « Rapport annuel 2019 », 2020.
- [2] Camara, Mamadou, « Atouts et limites de la filière coton au Mali. Economies et finances », Thèse, 2015.
- [3] FAORAF, A. S. Gouro, et C. Ly, « Résidus agricoles et sous-produits agro-industriels en Afrique de l'ouest - Etat des lieux et perspectives pour l'élevage », Rome, E-ISBN 978-92-5-208114-2 (PDF), 2014. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.fao.org/3/i3562f/i3562f.pdf>
- [4] Kassambara, Ibrahima, « Contribution à l'étude de la valeur alimentaire des sous-produits agro-industriels utilisés dans l'alimentation des ruminants au Mali », Université de Pierre et Marie Curie, Paris VI, 1983.
- [5] Nantoumé, Hamidou et al., « Performance et rentabilité de l'incorporation de Ficus gnaphalocarpa et de Pterocarpus erinaceus dans les rations d'emboche ovine au Mali », Revue Science de la vie, de la terre et Agronomie du CAMES, 2016.
- [6] Tran, Giles, « Le coton et ses co-produits en alimentation animale », Rev. Aliment. Anim., no 482, p. 3, 1994.
- [7] Amoussou Koffi B. et Corniaux, Christian, « Stratégie des acteurs de la filière des aliments du bétail au Mali », CIRAD/ATP-ICARE/IER, 2008. [En ligne]. Disponible sur: https://agritrop.cirad.fr/549292/1/document_549292.pdf

Effects of Artisanal Gold-mining Land Uses on Livestock Production in Tangandougou, Sikasso Region, Mali

Mahamadou Moussa Keita^{1,2,3*} and George Morara Ogendi^{2,3}

¹Rural Polytechnic Institute for Training and Applied Research, Katibougou, Koulikoro, Mali

²Department of Environmental Science, Egerton University, Njoro Campus, Nakuru, Kenya

³Dryland Research Training and Ecotourism Centre, Chemeron, Baringo, Kenya

*Corresponding author's email address: mahamadou77@yahoo.fr

ABSTRACT: Mining activities are interconnected to other economic activities surrounding gold-mining areas. These activities were characterized by research of incomes so as to cover households' expenditure in Tangandougou Commune. Livestock production system was one of the activities comprised extensive, intensive and semi-intensive. Extensive system was practiced by smallholder farmers that keep animal such as cow, goat and sheep for household purposes. Traditional extensive system was not compatible to artisanal Gold-mining areas. The objective of this study was to identify different system of livestock production undertaken by households in Tangandougou commune. The study area is located some 170 km far away from capital Bamako. The methodology used household survey with experiment random. Exploratory and descriptive research designs were used in this study with a samples size of 200 households. Research materials were included questionnaire, focus group discussion, and key informant interviews. Data was analyzed using descriptive and inferential statistics such as chi-square, correlation and logit model. Results shown that cow production ($\chi^2 = 58.320$; $p = 0.000$); goat ($\chi^2 = 13.875$; $p = 0.000$), sheep ($\chi^2 = 27.494$; $p = 0.000$); dairy farming ($\chi^2 = 3.046$; $p = 0.246$), peel commerce ($\chi^2 = 0.000$; $p = 1.000$) and compost from livestock fecal ($\chi^2 = 48.222$; $p = 0.000$). These results demonstrated that Gold-mining has negative effects on cow, goat and sheep production. Therefore, we recommend that integrated livestock production system should be promoted towards sustainable agriculture and resources management.

Keywords: Gold-mining, livestock-system, agricultural production, Mali.

1. INTRODUCTION

Mining activities are interconnected to economic activities surrounding gold mining areas. These activities were characterized by research of incomes so as to cover households' expenditure in Tangandougou community. Globally, these economic activities were focused on gold commerce, selling food, selling water, daily work, transport, and many others. On both the mining and the non-mining sites, the other economic activities comprised of cereals crops production, vegetables crop, fodder production, livestock production, agroforestry and fisheries. Basically, cereals crop and livestock production systems are the major sources of rural populations in West Africa [1, 2].

There were many challenges with livestock production system link to land tenure in Mali; these revolve around lack of land ownership titles and classification based on land use. For instance, the similar case was done in Colombia which referred to the magnitude of the impacts of conflict [3, 4]. Land uses conflict due to artisanal gold mining is frequent in Mali and that is not enabling sustainable agriculture and rural development. Land use is one of the fundamental problems of pastoralism in Mali.

The case study in Ethiopia was reported by [5] which highlighted land uses under pastoral and agro-pastoral. They recognized that the collective common property arrangements of land tenure were under pressure of

forces of change and that was not necessarily appropriate land uses. In Mali, land uses by artisanal gold mining are under community property right which is not clearly given opportunities to livestock system development in artisanal gold mining areas.

[6, 7] were of perception that biological oxygen demand (BOD) affects rice cultivation in Tha Chin River basin in China. As a matter of fact, water quality degradation affects rice farming and many others in term of yield reduction, which in turn affects farmers' livelihood such as in developing countries. This objective was interested to check on artisanal gold-mining effects on livestock practices system within household selected in study areas.

2. METHODOLOGY

2.1 Study area

Sikasso region is located in the Southern part of Mali, and it is also the third administrative region of the country. It borders Segou region to the North, Republic of Cote d'Ivoire to the South, Republic of Guinea to the West, Burkina Faso to the East and Koulikoro region to the North-West. Sikasso region covers 71.790 Km² representing 3.8% of national territory. The region has seven (7) districts which include Sikasso, Bougouni, Kadiolo, Kolondiéba, Koutiala, Yanfolila and Yorosso. In Sikasso region, there are 3 urban communes, 144 rural communes and 1.831 villages [8].

Farabacoura and Tiégucourouni are villages in Tangandougou commune, district of Yanfolila in Sikasso region. Tangandougou commune is some 170 Km from Bamako, the capital city of Mali. The study sites, Farabacoura are about 10 Km from Selingué Dam which is on Sankarani River while Tiégucourouni is 55 Km away from Selingué (Figure 1). The population of the commune is about 5,775 inhabitants [9].

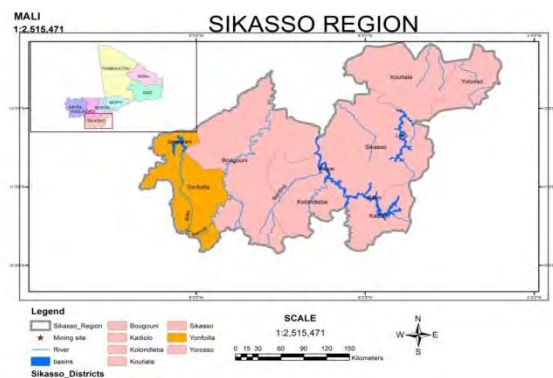


Figure 1: Study area in Sikasso region

The economic activities of the commune include crop and livestock production, fishing, agroforestry and artisanal gold-mining. These production systems are characterized by small-scale farming with low production. In term of cereals production, these small-scale farmers cultivate maize, sorghum and millet for household consumption, while the surplus is sold in the local markets. The commercial crops include rice, cotton, groundnut and sweet-potatoes.

Livestock production is practiced commercially in which beef cattle, goats and sheep are sold to meat processors whereas the surplus is for local markets generating income for households. The main types of livestock reared comprises of cows, goats, sheep and donkeys.

2.2 Data Collection Tools and Methods

The study used exploratory and descriptive research designs with cross sectional random sampling. Structured questionnaires were used to gather information from 200 household heads or his/her representative. In addition, three focus group discussions were held with local government, miners and non-miners in Tangandougou Commune. Finally, key informant interviews and observation check-list were used to collect supplementary information relevant to this study. The collected data was managed using the Statistic Package for Social Sciences (SPSS) while ArcGIS was used for the geographical information.

The respondents were drawn from the two villages equally as follows:

- *The mining site:* Farabacoura village respondents represented the mining site. These respondents were involved in either mining and/or agricultural

activities. The information on these activities was collected from an area of approximately 20 km².

- *The non-mining site:* as a nearby site of Tiegucourouni village, the study interviewed 100 households by soliciting information about mining and livestock production system based on study objective. Farabacoura and Tiegucourouni villages are adjacent to the gold-mining sites and thus residents are directly or indirectly affected by this anthropogenic activity.

The sample for this study was calculated using [10] formula shown here below.

$$n = \frac{NC^2}{[C^2 + (N-1)e^2]} \quad (1)$$

Where:

n = is the sample size

N = is the known population of Tangandougou commune

e = is the error margin of (3%)

C = is the coefficient of variation (30%)

The sample size based on this formula was:

$$n = \frac{5775 * 0.3^2}{[0.3^2 + (5775-1) 0.03^2]} = 100 \quad (2)$$

The result was multiplied by two giving a total of 200 households distributed as 50% between the two villages for data collection in Tangandougou commune.

Data was analysed using descriptive and inferential statistics such as Chi-square, correlation and logit model computed with location as dependent variable. We used [11] Logistic Regression model that is provided here below.

$$P(X) = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \sum \beta_i X_i)}} \quad (3)$$

Where $P(X)$ stands for location, α and β_i represented in the model formula are unknown parameters which have to be estimated from data collected on X_s and D for a group of study subjects. In this case study, the binary variables were used and as 0 and 1 representing No and Yes, respectively.

3. RESULTS

Descriptive Statistics of Livestock Production System Livestock especially cattle production was practiced by 100 respondents among households which represented 50% of study population. The distribution was 77 from the non-mining site and 23 observed on mining site. Those who did not practice livestock production were 23 from the non-mining and 77 from the mining site. The Chi-Square was ($\chi^2 = 58.32$) with the significance level of ($p = 0.000$) (Table 1).

Table 1: Livestock Production in Tangandougou Commune

	Freq.	%	N = 200		χ^2	P
			Non-Mining	Mining		
Cow production						
No	100	50	23	77	58.320	0.000
Yes	100	50	77	23		
Goat production						
No	116	58	45	71	13.875	0.000
Yes	84	42	55	29		
Sheep production						
No	133	66.5	49	84	27.494	0.000
Yes	67	33.5	51	16		
Dairy						
No	197	98.5	97	100	3.046	0.246
Yes	3	1.5	3	0		
Hides commerce						
No	198	99	99	99	0.000	1.000
Yes	2	1	1	1		
Composting						
No	158	79	59	99	48.222	0.000
Yes	42	21	41	1		

Source: Authors'

Goat production was practiced by 84 farmers or about 42% of study populations. Those who were not practicing goat production were 116 represented by 58% of the total interviewed population (45 from the non-mining site and 71 from the mining site). The distribution was 55 goat farmers from the non-mining and 29 farmers from the mining site. The calculated Chi-Square was ($\chi^2 = 13.87$) with the significance level ($p = 0.000$).

Sheep production was practiced by 67 farmers who represented 33.5% of the respondents of the population of the study areas. Those who were not engaged in sheep production were 133 representing 66.5% of the interviewed population. The distribution was 51 people from the non-mining site and 16 from the mining site from the sheep farmers. The respondents who were not engaged in sheep farming were 49 from the non-mining site and 84 from the mining site. The Chi-Square was ($\chi^2 = 27.49$) with the significance level of ($p = 0.000$).

Dairy farming was done by only 3 (all from the non-mining site) people representing 1.5% of the interviewed populations in the study areas. Those who did not practice dairy farming were 197 who represented 97% of interviewed population. This comprised of 97 respondents from the non-mining site against 100 from the mining site. The Chi-Square was ($\chi^2 = 3.04$) with the significance level of ($p = 0.246$).

The hides' commerce was done by 2 people representing 1% of study population. However, 198 people representing 99% did not practice hides commerce. The distribution was 1 respondent from the non-mining site and another from the mining site. In contrast, there were 99 respondents who did not practice hides business from the non-mining site while 99 respondents were from the mining site over the total

interviewed population of the study. That gave a Chi-Square of ($\chi^2 = 0.00$) with the significance level ($p = 1.000$). The production of organic manure from livestock was practiced by 42 (41 from the non-mining site and 1 from the mining site) interviewed respondents which represented 21% of study population. There were 158 respondents representing 79% of the total respondents in study areas who were not practicing that activity of composting. In contrast, there were 59 of the respondents observed in the non-mining site against 99 respondents from the mining site who did not engage in the manure composting activity. The Chi-Square for the engagement in the manure composting was ($\chi^2 = 48.22$) with the significance level of ($p = 0.000$).

The system of livestock production was still based on the traditional methods and the application of the industrial and commercial systems is still lacking. Furthermore, these households kept a few cattle and only for domestic purposes. Sheep and goats were reared by households for social and cultural functions. For example, they do traditional sacrifices with a goat or a sheep in villages in Tangandougou commune. However, these small ruminants have a lot of potentials for the economy of the concerned households, because the local and international markets are readily available. For local market, is mostly eaten outside households in Mali. Sheep and cattle are exported to countries like Senegal and Cote d'Ivoire. There was really a big potential for cow, sheep and goat production in Sikasso region [12, 13].

3.2 Correlations of Livestock Production

The items considered under livestock production in Tangandougou commune included location, cattle production, goat production, sheep production, hides

commerce and compost from livestock wastes. The significant negative relationships were observed to exist between cattle production and location ($r = -0.54$; $p > 0.01$), goats production versus location ($r = -0.26$; $p > 0.01$), sheep production and location ($r = -0.37$; $p > 0.01$) and between composting of livestock wastes and location ($r = -0.49$; $p > 0.01$). In contrast, the

significant positive relationships were observed between goats and cow production ($r = 0.34$; $p > 0.01$), sheep and cattle production ($r = 0.49$; $p > 0.01$), composting of livestock wastes and cattle production ($r = 0.31$; $p > 0.01$), sheep and goats production ($r = 0.31$; $p > 0.01$) and composting of livestock wastes and sheep production ($r = 0.20$; $p > 0.01$) (Table 2 below).

Table 2: Pearson's Correlations of Livestock Production

Variables	Location	Cow	Goat	Sheep	Dairy	Hides	Compost
Location	1						
Cow	-0.540**	1					
Goat	-0.263**	0.344**	1				
Sheep	-0.371**	0.498**	0.319**	1			
Dairy	-0.123	0.041	0.062	0.087	1		
Hides	0.000	0.000	0.118	0.035	-0.012	1	
Compost	-0.491**	0.319**	-0.041	0.206**	-0.064	-0.052	1

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). Source: Authors'

3.3 Results of Logistic Regression

Mining areas are not appropriate to livestock production because of the associated characteristics and their influences and connected activities which usually impacts land, water and destroys forests heavily. Artisanal gold mining is characterized by open pits and their collapses' risk that make spaces surrounding mining out of exploitation for livestock production activities. This therefore, reduces exploitable land for livestock forcing the households to keep their animals at home or in farm for few of them.

Modern livestock farming was not practiced by households. Only a few of households kept their animals in the farms. Therefore, most of them used

traditional breeding system which involves leaving the animals to feed for themselves in the pasture fields during dry season and following them up during the rainy season. Whenever animals were kept inside the confined fields during the dry season they provided plant leaves for them as animal feed.

The animals feed production is one of the agricultural production activities which are environmentally and economically sustainable. Fodder productions are intended to keep animals breeding at high level in term of sustainable agriculture. Cow production ($p > 0.001$) and composting from livestock wastes ($p > 0.001$) were significantly related with a strong negative correlation among livestock production system in study areas (Table 3) [14].

Table 3: Logit Regression Results of Livestock Production

Explanatory Variables	Coeff.	S.E.	Wald	Sig.
Cow production	-1.744	0.434	16.117	0.000***
Goat production	-0.745	0.422	3.111	0.078
Sheep production	-0.530	0.457	1.341	0.247
Dairy produces	-21.431	21758.353	0.000	0.999
Hides commerce	-0.041	1.509	0.001	0.978
Compost livestock	-4.112	1.054	15.214	0.000***
Constant	1.923	0.320	36.067	0.000

Note: *** significant at 1% level. Source: Authors'

These parameters were looked for the livestock production capacity by households. Results showed that cattle (-1.744), goats (-0.745), sheep (-0.530), dairy produce (-21.431), peel commerce (-0.041) and compost (-4.112) had a strong negative correlation with location. If $Y = \beta_0 + \beta X_1 + \beta X_2 + \beta X_3 + \beta X_4 + \beta X_5 + \beta X_6 + \varepsilon$ so the variables in equation were $Y = 1.923\beta_0 - 1.744X_1 - 0.745X_2 - 0.530X_3 - 21.431X_4 - 0.041X_5 - 4.112X_6$

4. CONCLUSION

Artisanal gold-mining negatively affects agricultural development in the study area. A number of residents

have abandoned agriculture for gold-mining hence impacting negatively on livestock production practices. For agriculture to be developed, emphasize should be on small and proximity irrigation, collection of rainfall water, livestock breeding and agribusiness enterprises so as to increase farmers' profits. These should be organized as integrated system for sustainable agriculture (ISSA) under functional units of system theory. This strategy has to be supported by national and local government policies.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study is based upon work supported by the United States Agency for International Development, as part of the Feed the Future initiative, under the CGIAR Fund, award number BFS-G-11-00002, and the predecessor fund the Fond Security and Crisis Mitigation II grant, award number EEM-G-00-04-00013. The authors appreciate the support they received from Egerton University and the Rural Polytechnic Institute for Training and Applied Research, of Katibougou (IPR/IFRA) through the Ministry of Higher Education and Research of Mali.

REFERENCES

- [1] Okuyama, Y., Maruyama, A., Takagaki, M., and Kikuchi, M., (2017). Technical efficiency and Production potential of Selected Cereal Crops in Senegal: *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*. Vol. 118. No. 2. ISSN 2363-6033.
- [2] Keita, M.M. and Ogendi, G.M. (2021) Land Tenure and Its Influence on Agriculture in Artisanal Gold- Mining Zones of Sikasso Region, Mali. *Open Journal of Ecology* , 11, 95-104.
- [3] Barthel, K., Cespedes, V., Salazar, B., Torres, R., and Varon, M. (2016). *Land and Rural Development Policy Reforms in Colombia: The Path to Peace*: World Bank. Washington. US
- [4] Nurbekov, A., Akramkhanov, A., Kassam, A., Sydyk, D., Ziyadoullaev, Z., and Lamers, J. P. A. (2016). Conservation Agriculture for Combating land degradation in Central Asia: a synthesis. *Journal of Agriculture and Food*. Accessed on site <http://www.aimspress.com/journal/agriculture> 20/4/ 2018
- [5] Awgichew, S., Flintan, F., and Bekure, S. (2016). *Improving Security of Rights to Resources through Participatory Rangeland Management in Ethiopia*: World Bank. US
- [6] Henderson, A., Kleiman, R., Adingtan, K., Nilsalab, P., Garivait, S., Kemens, R. M., and Gheewala, S. H. (2018). Water Quality Degradation and Management Strategies for Swine and Rice Farming Wastewater in the Tha Chin River Bassin. *Environment and Natural Resources Journal*. 16 (1): 58-69
- [7] Keita M.M, Ogendi G.M, Owuor G. and Wycliff N.N (2018) Impacts of Artisanal Gold Mining on Water Quality: A Case Study of Tangandougou Commune in Sikasso Region, Mali. *J Environ Health Sustain Dev*. 3(4): 621-9.
- [8] Assemblée Régionale de Sikasso (2011) Plan stratégique de développement régional de Sikasso 2011-2020: ARS/Fonds Africain pour le Développement.
- [9] RGPH, (2009) Recensement General de la Population et de l'Habitat du Mali (RGPH) Résultats définitifs. Répertoire des villages. Sikasso.
- [10] Nassiuma, D. (2000) Survey sampling: theory and methods. *Nairobi University Press*, 228, p7.
- [11] Kleinbaum, D. G., Klein, M. (2010). Logistic Regression: A self-learning Text third Edition: *Springer*. ISBN: 978-1-4419-1742-3. New York.
- [12] Keita, M. M., Ogendi, G. M. and Owuor, G. (2018) Socio-economic Factors That Influence Household Incomes in Artisanal Gold Mining Area of Tangandougou Commune, Mali. *ADRRI Journal of Agriculture and Food Sciences*, Ghana: Vol.4, No. 2 (3), Pp. 1-19.
- [13] Heckle, R., Smith, P., Macdiarmid, J. I., Campbell, E., and Abbott, P., (2018). Beekeeping adoption: A case Study of three Smallholders farming Communities in Baringo County, Kenya: *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*. Vol. 119 No. 1. ISSN 2363-6033.
- [14] Keita, M. M., Owuor, G. and Ogendi, G. M. (2018) Drivers of Participation in Artisanal Gold Mining and its Effect on Agriculture in Mali. *ADRRI Journal of Agriculture and Food Sciences*, Ghana: Vol.4, No. 1 (3), Pp. 1-16.

Effects of Artisanal Gold-mining Land Uses on Agroforestry in Tangandougou, Sikasso Region, Mali

Mahamadou Moussa Keita^{1, 2, 3*}, Mohamadine Asseydou¹, Hamadou Amadou Cissé Barry⁴

¹Rural Polytechnic Institute for Training and Applied Research of Katibougou, Koulikoro, Mali

²Department of Environmental Science, Egerton University, Njoro Campus, Nakuru, Kenya

³Dryland Research Training and Ecotourism Centre, Chemeron, Baringo, Kenya

⁴University of Human Sciences and Letter, Bamako, Mali

*Corresponding author's email address: mahamadou77@yahoo.fr

ABSTRACT: Agroforestry becomes one the major preoccupation in developing countries across the world. In Africa, agroforestry is playing multi-dimensional purposes in ecosystem maintenance and agricultural production. The forests crop or creation is not significantly considered like an agricultural production in Mali. The traditional forests are destroyed through artisanal Gold-mining in Mali. The objective of this study was to measure the effects of artisanal Gold-mining on agroforestry in Tangandougou. The study area is about 170 km from the capital city of Mali. The methodology was focused on household survey. Exploratory and descriptive research designs were used with a samples size of 200 households. Research materials were questionnaire, focus group discussion, and key informant interviews. Data was analyzed using descriptive and inferential statistics such as chi-square, correlation and logit model. Results shown that timber wood production ($\chi^2 = 0.579$; $p = 0.613$), construction wood ($\chi^2 = 2.083$; $p = 0.279$); charcoal production ($\chi^2 = 24.500$; $p = 0.000$), hunting activity ($\chi^2 = 5.838$; $p = 0.029$), honey production ($\chi^2 = 11.033$; $p = 0.001$), and herbal medicine activity ($\chi^2 = 0.579$; $p = 0.613$). Results demonstrated that Charcoal production negatively drives households out of agroforestry. Therefore, we recommend that to promote agroforestry more emphasis should be on property right and private forests creation in Mali.

Keywords: Gold-mining, agroforestry, sustainable agriculture, Mali.

1. INTRODUCTION

Mining activities are interconnected to other economic activities surrounding gold mining areas. These activities were characterized by research of incomes so as to cover households' expenditure in Tangandougou community. Globally, these economic activities are focused on gold commerce, which includes small business and construction, selling food, selling water, daily work and transport. There were different economic activities connected to artisanal gold mining in Farabacoura. On both the mining and the non-mining sites, the other economic activities comprised of cereals crops production, vegetables crop, fodder production, livestock production, agroforestry and fisheries. Basically, cereals crop and livestock production are the major sources of rural populations in West Africa [1, 2].

There are many challenges with respect to land tenure in Mali; these revolve around lack of land ownership titles and lack of land classification based on land use. For instance, the similar case is a study in Colombia which was referred to the magnitude of the impacts of conflict [3, 4].

Land uses conflict due to artisanal gold mining exploitation is frequent in Mali and that is not enabling sustainable agriculture. Land uses are one of the major problems of agroforestry development in mining areas of Mali. The case study in Ethiopia

was reported by [5] which highlighted land uses under pastoral and agro-pastoral. They recognized that the collective common property arrangements of land tenure were under pressure of forces of change and that was not necessarily appropriate land uses. In Mali, land uses by artisanal gold mining are under community property right which is not clearly given facilitate the development of agriculture in artisanal gold mining areas.

[6, 7] were of perception that biological oxygen demand (BOD) affects rice cultivation in Tha Chin River basin in China. As a matter of fact, water quality degradation affects rice farming and many others in term of yield reduction, which in turn affects farmers' livelihood such as in developing countries. This objective was conceived to check effects of artisanal Gold-mining on agroforestry in term of practices within household in study areas.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Study area

Sikasso region is located in the Southern part of Mali, and it is also the third administrative region of the country. It borders Segou region to the North, Republic of Cote d'Ivoire to the South, Republic of Guinea to the West, Burkina Faso to the East and Koulikoro region to the North-West. Sikasso region covers 71.790 Km² representing 3.8% of national territory. The region has seven (7) districts which

include Sikasso, Bougouni, Kadiolo, Kolondièba, Koutiala, Yanfolila and Yorosso. In Sikasso region, there are 3 urban communes, 144 rural communes and 1.831 villages [8].

Farabacoura and Tiéguécourouni are villages in Tangandougou commune, district of Yanfolila in Sikasso region. Tangandougou commune is some 170 Km from Bamako, the capital city of Mali. The study sites, Farabacoura are about 10 Km from Selingué Dam which is on Sankarani River while Tiéguécourouni is 55 Km away from Selingué (Figure 1). The population of the commune is about 5,775 inhabitants [9]. The major ethnic groups of the natives are composed of Bambara, Senufo, Manliké, Bozo and Peulh.

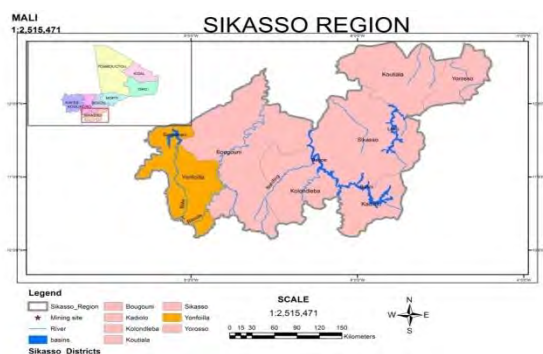


Figure 1: Map of Study area in Sikasso region

The economic activities of the commune include crop and livestock production, fishing, agroforestry, commerce and artisanal gold-mining. These production systems are characterized by small-scale farming with low agricultural production. In term of cereals production, these small-scale farmers cultivate maize, sorghum and millet for household consumption, while the surplus is sold in the local markets. The commercial crops include rice, cotton, groundnut and sweet-potatoes.

In terms of environmental management, the natives practice agroforestry activities mainly focused on both indigenous and exotic trees. The exploitation of the indigenous plants such as karité, néré, baobab, *Azelia africana*, *Khaya senegalensis* and *Prosopis africana* is for food, fuelwood and medicinal purposes. The communities also grow fruits trees such as orange, mango and pawpaw among others that are sold at the local markets generating income in addition to household consumption.

2.2 Data Collection Tools and Methods

The study used exploratory and descriptive research designs with cross sectional random sampling. Structured questionnaires were used to gather information from 200 household heads or his/her representative. The questionnaires were structured on based on the study objectives and attributes. In addition, three focus group discussions were held

with local government, miners and non-miners in Tangandougou Commune. Finally, key informant interviews and observation check-list were used to collect supplementary information relevant to this study. The collected data was managed using the Statistic Package for Social Sciences (SPSS) while ArcGIS was used for the geographical information.

The respondents were drawn from the two villages equally as follows:

- *The mining site:* Farabacoura village respondents represented the mining site. These respondents were involved in either mining and/or agricultural activities. The information on these activities was collected from an area of approximately 20 km².
- *The non-mining site:* as a nearby site of Tieguecourouni village, the study interviewed 100 households by soliciting information about mining and agroforestry practice. Farabacoura and Tieguecourouni villages are adjacent to the goldmining sites and thus residents are directly and/or indirectly affected by this anthropogenic activity.

The sample for this study was calculated using the [10] formula shown here below.

$$n = \frac{NC^2}{[C^2 + (N-1)e^2]} \quad (1)$$

Where:

- n = is the sample size
- N = is the known population of Tangandougou commune
- e = is the error margin of (3%)
- C = is the coefficient of variation (30%)

The sample size based on this formula was:

$$n = \frac{5775 \cdot 0.3^2}{[0.3^2 + (5775-1) \cdot 0.03^2]} = 100 \quad (2)$$

The result was multiplied by two giving a total of 200 households distributed as 50% between the two villages for data collection in Tangandougou commune.

Data was analysed using descriptive and inferential statistics such as Chi-square, correlation and logit model computed with location as dependent variable. We used [11] Logistic Regression model that is provided here below.

$$P(X) = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \sum \beta_i X_i)}} \quad (3)$$

Where $P(X)$ stands for location, α and β_i represented in the model formula are unknown parameters which have to be estimated from data collected on X_s and D for a group of study subjects [11, 12, 13, 14]. In

this case study, the binary variables were used and as 0 and 1 representing No and Yes, respectively.

3. RESULTS

3.1 Descriptive Statistics of Agroforestry

Timber wood production was practiced by 17 respondents which represented 8.5% among study population. Those who did not practice timber wood production were 183 representing 91.5% of the

respondents in the study areas. In the non-mining site, there were 10 people who practiced timber wood production against 7 from the mining site. Those who did not practice timber wood production activities were 90 from the non-mining site and 93 from the mining site. The calculated Chi-Square of timber wood production was ($\chi^2 = 0.57$) with the significance level of ($p = 0.613$).

Table 1: Agroforestry in Tangandougou Commune

	Freq.	%	N = 200		χ^2	P
			Non-Mining	Mining		
Timber Wood						
No	183	91.5	90	93		
Yes	17	8.5	10	7	0.579	0.613
Poles						
No	192	96.0	94	98		
Yes	8	4.0	6	2	2.083	0.279
Charcoal						
No	160	80.0	66	94		
Yes	40	20.0	34	6	24.500	0.000
Hunting						
No	185	92.5	88	97		
Yes	15	7.5	12	3	5.838	0.029
Honey						
No	169	84.5	76	93		
Yes	31	15.5	24	7	11.033	0.001
Herbal						
No	183	91.5	93	90		
Yes	17	8.5	7	10	0.579	0.613

Source: Authors'

The number of the respondents who engaged in the production of wood for construction was 8 representing 4% of study population. Those who were not involved in this activity were 192 (94 from the non-mining site and 98 from the mining site) representing 96% of the respondents' population in study areas. The distribution was 6 are engaged in this activity from the non-mining site against 2 from the mining site Negative answers were observed for. The Chi-Square for this activity was ($\chi^2 = 2.08$) with the significance level of ($p = 0.279$).

Charcoal production was practiced by 40 households among the respondents representing 20% of study population. The activity was not practiced by 160 household which represented 80% of total respondents in study areas. On non-mining site, they were 34 people against 6 on mining site who practiced charcoal production. In contrast, those were not practicing charcoal production were 66 from the non-mining site and 94 people from the mining site. The Chi-Square was ($\chi^2 = 24.50$) with the significance level of ($p = 0.000$).

Hunting as a traditional activity in study areas was practiced by 15 households representing 7.5% of the

respondents' population. There were 185 households representing 92.5% who did not practice hunting. The distribution was of the households that practiced hunting was 12 respondents from the non-mining site and 3 from the mining site. Those who did not practice hunting were 88 from the non-mining site and 97 from the mining site. The Chi-Square calculated for the hunting activities was ($\chi^2 = 5.83$) with the significance level of ($p = 0.029$) in study areas.

Honey production as traditional service from forests was observed in 31 respondents' households representing 15.5% of study population. For instance, they were 169 households representing 84.5% in which people did not practice that activity in study areas. Those were practicing honey production were 24 respondents from the non-mining site against 7 from the mining site. The practice was not observed in 76 households from the non-mining site and 93 cases from the mining site. The Chi-Square of that observation was ($\chi^2 = 11.03$) with the significance level of ($p = 0.001$).

Agroforestry was practiced for local production for most of households within the site. Agroforestry

activities were not a primary targeted production for households but rather due to the limited allowance to use resources from forests such as honey, timber wood and charcoal. Additionally, horticulture was limited to some fruits production such as oranges, mangoes, papaya. There was not beekeeping in terms of lucrative activity among households or an experience reported by [13] emphasized the significant advantages of beekeeping for smallholder farming communities in Kenya.

Herbal medicine activity was observed in 17 households representing 8.5% of study population.

There were 183 households representing 91.5% in which people were not practicing herbal medicine as a form of lucrative activity. On non-mining site, there were 7 households against 10 on mining site in which people practiced herbal medicine production as a lucrative activity. In contrast, there were 93 households on non-mining site and 90 on mining site in which people were not practicing herbal medicine as lucrative activity. The Chi-Square of herbal medicine production was ($\chi^2 = 0.57$) with significance level of ($p = 0.613$).

Table 2: Plant Trees Observed (+) and none Observed (-) in Tangandougou Commune

Trees Species	Common Name	Scientific Name	Mining Site	Non-Mining
1	Papaya	<i>Carica papaya</i>	-	+
2	Mango	<i>Mangifera indica</i>	-	+
3	Sweet Orange	<i>Citrus sinensis</i>	-	+
4	Bitter Orange	<i>Citrus aurantium</i>	-	+
5	Baobab	<i>Adansonia digitata</i>	-	+
6	Karite	<i>Vitellaria paradoxa</i>	-	+
7	Eucalyptus	<i>Tereticornis globulus</i>	+	+

Source: Authors'

3.2 Correlations Results of Agroforestry

The activities that were considered under agroforestry services included timber wood production, construction wood production, charcoal production, hunting activity in households, honey production by households and herbal medicine practiced by households as a form of lucrative activity. For instance, results showed that there were significant strong negative relationships between charcoal production and location ($r = -0.35$; $p >$

0.01), hunting activity versus location ($r = -0.17$; $p > 0.05$) and honey production versus location ($r = -0.23$; $p > 0.01$). The significant positive relationships were observed between construction wood and timber wood production ($r = 0.39$; $p > 0.01$), charcoal and timber wood production ($r = 0.20$; $p > 0.01$), herbal medicine and timber wood production ($r = 0.16$; $p > 0.05$); honey and charcoal production ($r = 0.269$; $p > 0.01$) and honey versus hunting activity ($r = 0.29$; $p > 0.01$) (Table 3 below).

Table 3: Pearson's Correlations of Agroforestry Activities

	Location	Timber wood	Poles	Charcoal	Hunting	Honey	Herbal medicine
Location	1						
Timber wood	-0.054	1					
Poles	-0.102	0.395**	1				
Charcoal	-0.350**	0.206**	0.089	1			
Hunting	-0.171*	-0.019	0.039	0.095	1		
Honey	-0.235**	0.117	0.124	0.269**	0.298**	1	
Herbal medicine	0.054	0.164*	0.121	-0.018	0.117	0.068	1

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). * Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Source: Authors'

3.3 Logit Model of Agroforestry Activities

Gold Mining activities are always linked to forest resources exploitation in Mali. For example, the housing use more wood for construction and there is no distinction between wood, because of indiscriminate cutting tree in mining areas. This makes all forests in mining zones vulnerable to deforestation and thereby, it degrades the environment in the mining areas [14]. As much as the government of Mali has the roles and responsibilities of protecting

rare tree species, the full application and implementation of the laws and legislations in local areas may pose problems. In fact, there is some insufficient check-point for forestry's resources control including wood, charcoal and cooking wood. The gold-mining areas were free from that kind of control of forest resources which is significantly and negatively impacting charcoal production ($p > 0.001$).

Table 4: Logistic Regression Results of Agroforestry Activities

Explanatory Variables	Coeff.	S.E.	Wald	Sig.
Timber wood	0.554	0.691	0.643	0.423
Construction wood	-1.333	0.997	1.790	0.181
Charcoal	-1.990	0.504	15.591	0.000***
Hunting	-1.263	0.737	2.937	0.087
Honey	-0.827	0.509	2.640	0.104
Herbal medicine	0.673	0.616	1.192	0.275
Constant	0.477	0.179	7.073	0.008

Note: *** significant at 1% level. Source: Authors'

The parameters were run to find out which of them was mostly used by population in study area. The study found out that timber wood (0.554) and herbal medicine had a strong positive correlation to localities. The negatives strong correlation was given by the coefficient attributed to construction wood (-1.333), charcoal (-1.990), hunting activity (-1.263) and honey production (-0.827). If $Y = \beta_0 + \beta X_1 + \beta X_2 + \beta X_3 + \beta X_4 + \beta X_5 + \beta X_6 + \varepsilon$ so the variables in equation were $Y = 0.477\beta_0 + 0.554X_1 - 1.333X_2 - 1.990X_3 - 1.263X_4 - 0.827X_5 + 0.673X_6$

4. CONCLUSION

Artisanal gold-mining negatively affects agricultural development in the study area. A number of residents have abandoned agriculture for gold mining hence impacting negatively on agroforestry, fisheries, crops and livestock production. For agriculture to be developed, emphasize should be on small and proximity irrigation, collection of rainfall water, livestock breeding and agribusiness enterprises so as to increase farmers' profits. These should be organized as integrated system for sustainable agriculture (ISSA) under functional units of system theory. This strategy has to be supported by national and local government policies.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study is based upon work supported by the United States Agency for International Development, as part of the Feed the Future initiative, under the CGIAR Fund, award number BFS-G-11-00002, and the predecessor fund the Fond Security and Crisis Mitigation II grant, award number EEM-G-00-04-00013. The authors appreciate the support they received from Egerton University and the Rural Polytechnic Institute for Training and Applied Research of Katibougou (IPR/IFRA) through the Ministry of Higher Education and Research of Mali.

REFERENCES

[1] Y. Okuyama, A. Maruyama, M. Takagaki, and M. Kikuchi, "Technical efficiency and Production potential of Selected Cereal Crops in Senegal" *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 2017, Vol. 118, No. 2, Pp 2363-6033.

[2] M.M. Keita, and G.M. Ogendi, "Land Tenure and Its Influence on Agriculture in Artisanal Gold- Mining Zones of Sikasso Region, Mali" *Open Journal of Ecology*, 2021, 11, Pp 95-104.

[3] K. Barthel, V. Cespedes, B. Salazar, R. Torres, and M. Varon, "Land and Rural Development Policy Reforms in Colombia: The Path to Peace" 2016, World Bank. Washington. US

[4] A. Nurbekov, A. Akramkhanov, A. Kassam, D. Sydyk, Z. Ziyadoullaev, and J.P.A. Lamers, "Conservation Agriculture for Combating land degradation in Central Asia a synthesis" *Journal of Agriculture and Food*, 2016, Accessed on site <http://www.aimspress.com/journal/agriculture> 20/4/ 2018

[5] S. Awgichew, F. Flintan, and S. Bekure, "Improving Security of Rights to Resources through Participatory Rangeland Management in Ethiopia", 2016, World Bank. US

[6] A. Henderson, R. Kleiman, K. Adingtan, P. Nilsalab, S. Garivait, R.M. Kemens, and S.H. Gheewala, "Water Quality Degradation and Management Strategies for Swine and Rice Farming Wastewater in the Tha Chin River Bassin" *Environment and Natural Resources Journal*, 2018, 16 (1): 58-69.

[7] M.M Keita, G.M Ogendi, G. Owuor and N.N Wycliff "Impacts of Artisanal Gold Mining on Water Quality: A Case Study of Tangandougou Commune in Sikasso Region, Mali" *J Environ Health Sustain Dev.*, 2018c, 3(4), 621-9.

[8] Assemblée Régionale de Sikasso «Plan stratégique de développement régional de Sikasso 2011-2020», 2011 ARS/Fonds Africain pour le Développement.

[9] RGPH. «Recensement General de la Population et de l'Habitat du Mali (RGPH) Résultats définitifs» Répertoire des villages. Sikasso,

[10] D. Nassiuma, "Survey sampling: theory and methods" *Nairobi University Press*, 2000, 228, p7.

- [11] D.G. Kleinbaum, and M. Klein, "Logistic Regression: A self-learning Text" third Edition: *Springer*, 2010, ISBN: 978-1-4419-1742-3. New York.
- [12] M.M. Keita, G.M. Ogendi, and G. Owuor, "Socio-economic Factors That Influence Household Incomes in Artisanal Gold Mining Area of Tangandougou Commune, Mali" *ADRRJ Journal of Agriculture and Food Sciences*, 2018b, Ghana, Vol.4, No. 2 (3): 1-19.
- [13] R. Heckle, P. Smith, J. I. Macdiarmid, E. Campbell, and P. Abbott, "Beekeeping adoption: A case Study of three Smallholders farming Communities in Baringo County, Kenya" *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 2018, Vol. 119 No. 1. 2363-6033.
- [14] M.M. Keita, G. Owuor, and G.M. Ogendi, "Drivers of Participation in Artisanal Gold Mining and its Effect on Agriculture in Mali" *ADRRJ Journal of Agriculture and Food Sciences*, 2018a Ghana: Vol.4, No. 1 (3), Pp. 1-16.

Comparative Analysis of Machine Learning Approaches on Human Activity Recognition (HAR) by Using Cell phone Accelerometer Data

Ibrahima dit Bouran SIDIBE^{1,2*}, Imene DJELLOUL³, Abdou FANE¹, Luc COULIBALY², Gabou DIOP⁴,
Mohamed FOFANA⁵, Amadou OUANE⁶

¹Centre de Formation et de Perfectionnement en Statistique

²Institut de Pédagogie Universitaire

³Ecole Supérieure des Sciences Appliquées d'Alger, Algérie

⁴Orange, Mali

⁵IBEX, Africa

⁶Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

* Corresponding author's email address: bouransidibe@gmail.com

ABSTRACT: This paper addresses a comparative analysis between supervised approaches to recognize human activities such as standing, walking, walking to up stair and walking to down stair. Dealing with, the phone-based accelerometer data on owner space position are considered and analyzed in order to derive user motion through the acceleration and its directions estimations. The derived data are therefore used in machine learning approaches for human activities prediction purpose and compared according to their effectiveness on HAR task. Indeed, four base-estimators (Logistic regression with Ridge penalty and least absolute shrinkage and selection operator (LASSO), Support Vector Machine (SVM), K-Nearest Neighbors (KNN) and Decision Tree classifiers) are tuned to overcome human activity classification problem. Accordingly, analyses are performed on the base estimators' accuracy. These analyses highlight the weakness of base estimators to classify properly between human dynamic activities such as walking, walking to up stair, walking to down stair despite the use of ensemble method. However, the analyses depict that the approaches based on decision tree are more suitable than other and provide highest accuracy values for HAR task. These accuracies performance are hold under unbalanced distribution between the classes frequency of activity and similar to the performance of deep learning models in HAR.

Keywords: Activity Recognition, Supervised Learning, Ensemble method, Bagging, Random Forest, Logistic Regression, K-Nearest Neighbors, Support Vector Machine, Decision Tree.

I. INTRODUCTION

The physical motions monitoring to recognize simple or complex human activities remains a real challenge in artificial intelligence (AI) with a various possible applications in medical care, sport training and economics. The research interest for HAR based on sensors data has therefore got uprising in last decades. Roughly speaking, uprising interest in HAR is due to in one way of the economic potential on market through the exchange of gadgets with a built-in HAR module in order to monitor the elderly care, healthcare, the daily activity, sport training and the wellness management. Uprising interest results another way of the integration of handy and large range of motion sensors accelerometer, Global Position System (GPS) and gyroscope in daily life devices such as cell phone or watch. These devices are reliable source for collecting data with ability to describe the human activity accurately. Therefore, the internal sensors in smartphone or smartwatch are designed on micro electro-mechanical systems (MEMS) technology and allow getting some valuable data information on the owner position, speed, acceleration and heart rhythm online that the AI algorithms can use for learning some characteristics of the human behavior. The availability of such data through usual device has made ease the

implementation of machine learning algorithms in HAR field and their integration as widgets in the phone and the watch. Recent researches on HAR are depicted in [1], [2]. In which the authors resumes a literature survey on the human activity recognition throughout the sources of data or kind of sensors and the use of Machine Learning (ML) or Deep Learning (DL) methods to overcome the HAR issues regardless the set of human ambulatory activities to predict. The accuracy of some ML and DL methods is figured out through relevant research papers. For more detail, reader may refer to these papers and all cited references in this work.

Another way, HAR is performed through a hybrid method involving dimensions reduction and random forest [3] on data from smart sensors (accelerometer, gyroscope, step counter and heart rate). The authors made comparison with other ML methods (KNN, SVM, and Decision Tree) and underlined by numerical experiments that the random forest works well with more accurate than other. In the same manner, SVM algorithms are suited in order to fit multiclass problem and used in [4] for HAR prediction. While the authors [1], [5] enhanced ML classifiers with features generation and selection model applied on data from smartphone built-in

sensors before application of learning algorithm. However for complex activities recognition, the deep neural network is required to overcome HAR issues [6]. Moreover in [7], the authors proposed spiking neural network to discriminate similar activities such as sitting and standing. Furthermore, the ballet dance tasks recognition is considered in [8]. In which the authors extended HAR model to analyze ballet dance motion and their recognition by using convolution neural network (CNN). Accordingly, the literature review note real outstanding performance of ML and DL models to deal with simple and complex human activities recognition task. Therefore these models require simultaneous data from several sensors whose collection often involves noisy and more preprocessing for ML or DL purpose. Without a real knowledge in signal processing, this preprocessing remains difficult. However, our work implements ML approaches for HAR purpose by focusing only on one source of data on which new features are derived. This makes HAR implementing simple and fast for built-in modules integration in everyday devices. Therefore, ensemble methods are combined with base machine learning algorithms as meta-estimators to overcome the HAR based on recorded acceleration data from a smartphone built-in accelerometer.

The remainder of this paper is organized as follows. Next section describes the data used in the machine learning algorithms. This section covers the data collecting material & frequency and methods to preprocess and to derive new features for machine learning algorithm purpose. Section 3, is devoted to estimators. This section focuses on the characteristics of used base estimators and ensemble methods. In addition, numerical experiments are conducted for comparisons purpose between proposed estimators (base, ensemble). The effectiveness of each estimator is evaluated and compared in order to underline the best among them. The last section concludes and highlights the main results of the paper.

II. DATA AND FEATURES COMPUTATION

2.1 Dataset

The dataset has been collected using the Bewei research platform (<https://www.beiwe.org/>) as a time series. The dataset provides information on raw linear acceleration from smartphone sensor. The dataset contains owner three dimensional acceleration information under this format (timestamp, UTC Time, accuracy, x, y, z). UTC Time and accuracy are dropped out from dataset for HAR purpose. The analysis is going to focus on the remainders and derived features from them for using machine learning algorithms.

The dataset is separated in two files. First file is a time series data and contains three dimensional acceleration measured data by sensor per second. This file sizes 3744 rows. Figure 1 depicts the

variation of acceleration values on axis x. We denote several high peaks with large values between 0 and 1 according to Figure 1. The values of acceleration are available on the first file.

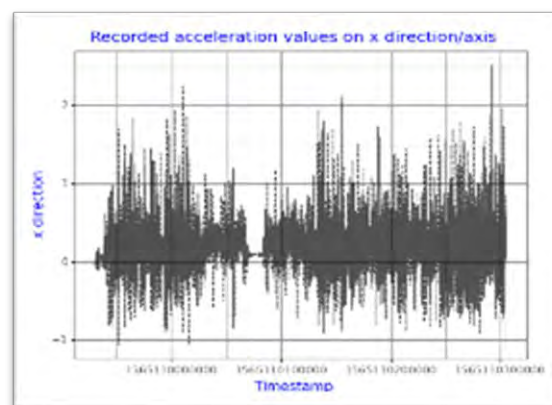


Figure1: Acceleration measured on abscise or x coordinate

While second file contains corresponding activity labels denoted as follows 1 = standing, 2 = walking, 3 = walking to up stair and 4 = walking to down stair. The activity label is delivered after each ten seconds and not per second. The label *is therefore only available for every 10th observation*. Thus, the second file contains fewer rows than first and sizes 375 rows. Figure 2 gives the distribution of activities according to the categories. Most frequent category remains walking which represents more than 50 percent while the standing activity counts 27 for only 7.2 percent. This figure highlights that the activity distribution is unbalanced between the categories. Accordingly, the ability of estimators to deal with unbalanced distribution is evaluated on based our file. Therefore, both files are going to be merged to one for HAR purpose. Next subsection provides additional features that we derive and use to overcome human activity recognition based on above dataset.

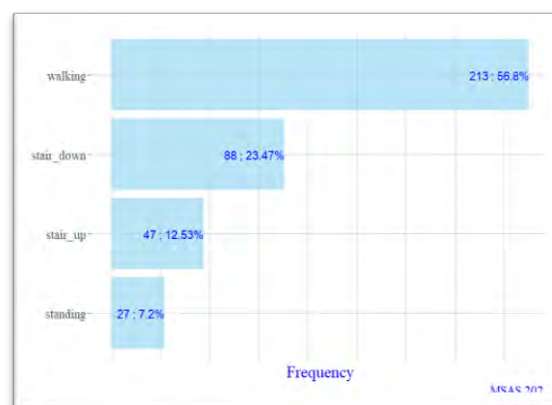


Figure 2: Distribution of activities

2.2 New features generation

New features are computed on the first file before merging with the second file. These new features are composed of the estimation of first and second variations recorded on acceleration according to each axis direction d . Next equations depict the formulas of both variations.

$$FirstV_{d,i} = \frac{A_{d,i+p} - A_{d,i-1}}{(p+1)*\delta T}, \quad (1)$$

$$SecondV_{d,i} = \frac{FirstV_{d,i+p} - FirstV_{d,i-1}}{(p+1)*\delta T}, \quad (2)$$

Where $d = \{x,y,z\}$ stands for the direction, $p = \{0,1\}$ represents the step of variation and δT elapsed time between observations i and $i-1$. Moreover, the acceleration module is computed for each observation. The acceleration module is

$$A_{M,i} = \sqrt{A_{x,i}^2 + A_{y,i}^2 + A_{z,i}^2} \quad (3)$$

Therefore, we denote $2*3 + 1$ additional features. First file has now 11 features for 3744 observations. All observations on the first file are not labelled. Only for each 10th observations and the observations label are on the second file. This latter has fewer observations than first file and provides the label for after each 10th step. Both files have merged to suite the second file size format. To reduce the first file in second file format, statistical computing is performed on each interval whose limits are in second file. The length of each interval is 10 and stands for the 10 seconds before sensor provides the motion label.

The statistics are then computed using the first file. For each interval of ten seconds, we compute statistics (mean, median, range and standard deviation) in order to reduce and to fit the second file size. These statistics are computed for all features apart the timestamp and acceleration intensity. Therefore, we have got $((11-2)*4 + 2)$ features for 375 labelled observations. Figure 3 shows evolution of acceleration median on each interval. The median of acceleration are computed with respect each axis. We denote weak acceleration values according to axes x and z while the acceleration on axis y are negative with high absolute values. However, the acceleration values variability remains similar regardless the axis direction Figure 4.

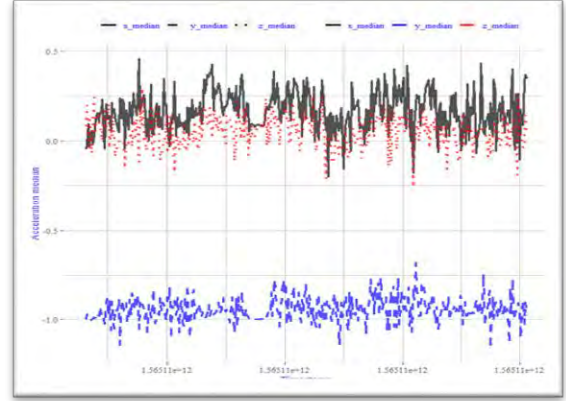


Figure 3: computed acceleration median on each axis

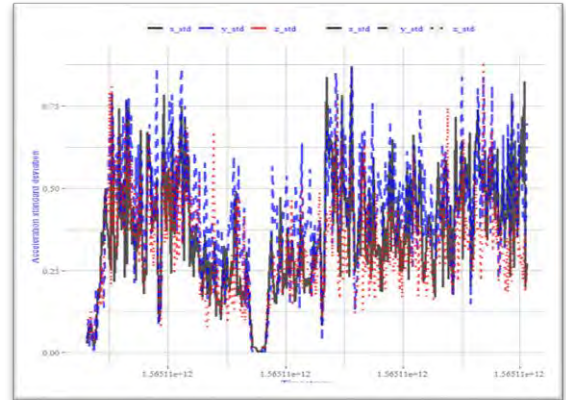


Figure 4: acceleration standard variation

Moreover, we create two additional features to visualize the direction and the plane in which the maximum acceleration values are observed. Both variables are categorical. The maximum acceleration direction delivers and combines information on the highest acceleration value axis and its sign. The categories for the maximum acceleration direction variable are X^+ , X^- , Y^+ , Y^- , Z^+ , Z^- . The maximal acceleration plan has however three categories such as XY , YZ , XZ . These categories describe the plane in which the highest acceleration module is observed.

Accordingly for HAR purpose, we derive 40 features for 375 observations. Next section presents the used base and ensemble estimators to solve HAR by using supervised machine learning approaches.

III. MODELS DESCRIPTION

Figure (5) depicts the scheme of meta-modelling implementation for HAR prediction task in this paper. This figure describes the required sequences and steps using in our meta-model. To ensure a reliable modelling, each base estimator is tuned on training data to derive best hyper parameters. Each tuned model is therefore improved for HAR purpose according to ensemble method in order to reduce the variance with respect the scheme of Figure (1).

3.1 Base estimators

Four base estimators are compared in this paper whose two parametric (logistic regression and SVM) and two non-parametric (KNN and decision tree). Logistic regression and SVM are linear separator and suitable for binary classification task. These estimators are herein suited to take into account multiclass prediction according to one class versus all strategy. Moreover, the logistic regression is performed with Ridge and LASSO penalties to deal with overfitting and features selection for the latter [9].

KNN and Decision Tree are non-parametric and suitable for multiclass modeling.

All estimators are trained on data in order to tune the best models with respect the hyper parameters on data for HAR prediction purpose. The variance of the best model from each base estimator is reduced by bagging in order to improve their robustness.

3.2 Bagging (Bootstrap aggregating)

Bagging stands for Bootstrap Aggregating. Bagging is parallel ensemble method that uses data resampling, models fitting on each sample and models predictions aggregating (by average or voting). The accuracy of each model is then evaluated on the out-of-bag which refers to the non-selected data for models building. While random forest generalizes bagging by adding random selection of set of feature for classification task [10].

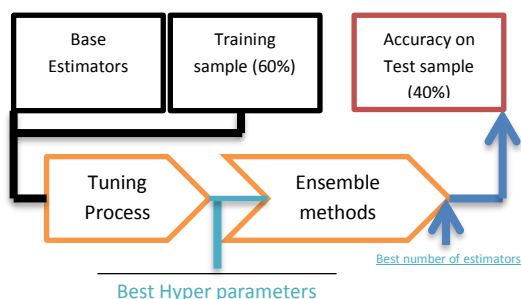


Figure 5. Learning process

Numerical experiments are then performed in next section to compare base estimators quality through proposed meta-model.

3.4 Numerical Experiments

The meta-model described in previous section is used on data in order to fit models to predict human dynamic activities. Figure (6) draws the scatter plot of acceleration standard deviation for each interval of 10 seconds with respect three dimensions. This figure maps the color of each point according to the activity label and allows underlining the complexity of

drawing decision boundary for classification task based on only these three features.

The data has 375 observations for 41 features whose 40 features are used as explanatory. In which numerical features are centered and scaled respectively by mean and standard deviation. The last one as the target. Figure (2) shows the distribution of the target feature according the number of each activity. To perform classification by use of the machine learning algorithm, we split data in training and test data. However, Figure (2) underlines a quite unbalancing between activity distributions in data which involves convergence problem for machine learning optimization algorithm and makes the use of predictive model unlikely. Accordingly to deal with the imbalanced classification, a balance is made between the size of training and test data. Therefore, we consider the train and test data size as respectively 60 and 40 percent of the data. Then the train data sizes 225 observations for 40 features while the test data represents 150 observations. The machine learning estimators are trained on train data and test data is used to evaluate the accuracy of each estimator for comparison purpose. The categorical features are then one hot encoded while the numeral features are centered and scaled respectively by mean and standard deviation. The base estimators are tuned on preprocessed train data for deriving best hyper parameters.

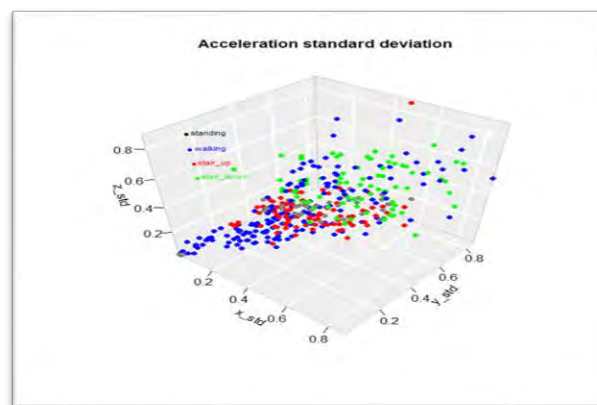


Figure 6: acceleration standard deviation on the axes

Table (1) shows the best hyper parameter for each base estimator while Table (2) depicts the accuracies on training & test data by using base and ensemble estimators to predict human dynamic activity. Table (2) denotes the weakness of base estimators to recognize human activities. The highest accuracy on train data are from non-parametric estimators (KNN, Decision Tree). The accuracy of these models reaches 100% on training data. However this performance hides an overfitting problem particularly for KNN estimator. Particularly, the spread between the accuracy values on train and test data reaches 30 percent Table (2). Herein, Overfitting is highlighted by the spread between train and test

accuracies and underlines the ability of estimator to generalize. Despite of the presence of overfitting in non-parametric estimator, we note that their performances are better relatively to parametric. However Table (3) describes the weakness of base estimators through the confusion matrix. This confusion matrix crosses the prediction of each model with the reality.

Table (3) depicts that all base estimators over fit the walking activity. Then base estimators are able to recognize the standing from others but have some weaknesses to make difference between dynamic activities such as walking, walking to up stair up and walking to down stair. Ensemble bagging manages only to improve the decision tree estimator according to Table (4). This table shows that the bagging improves clearly the variance and accuracy of decision tree for HAR purpose. The accuracy of decision tree on test data increases from 0.81 to 0.93 Table (2). This makes decision tree estimator a good candidate for HAR purpose base on acceleration data. In addition, we suggest the use of random forest which is a generalization of the bagging on the decision tree classifier. In random forest the features are also selected randomly for generating trees. The accuracy of random forest reaches 0.97 on test data. Table (5) shows the results from a confusion matrix by using the test data. In which we note only 2 misclassification in spite of the imbalanced classification observed on target feature in the dataset.

Table 1: Best hyper parameters for base estimators

Ridge	$\lambda = 3.35$
LASS	
O	$\lambda = 6.16$
SVM	kernel = sigmoid, gamma = scale, C = 1. weights = uniform, p = 2, n_neighbors =
KNN	19, metric = minkowki, leaf_size = 3
Decisi on Tree	splitter = best, max_features = None, max_depth = 19, criterion = entropy

Table 2: Estimators accuracy

	Base estimators		Bagging estimators	
	<i>Train</i>	<i>Test</i>	<i>Train</i>	<i>Test</i>
Ridge	0.79	0.65	0.77	0.70
LASS				
O	0.74	0.71	0.74	0.70
SVM	0.80	0.73	0.79	0.72
KNN	1.00	0.71	0.99	0.72
Decisio n Tree	1.00	0.81	0.99	0.93

Table 3: Confusion matrix on the test data by using base estimators

		Prediction				
		stair_up	stair_dow n	standing	walking	
Reality	Regression with Ridge	stair_up	6	3	0	13
	stair_down	0	11	0	23	
	Standing	0	0	12	3	
	Walking	2	9	0	68	

		Prediction				
		stair_up	stair_dow n	standing	walking	
Reality	Regression with LASSO	stair_up	8	1	0	13
	stair_down	1	14	1	18	
	standing	1	0	13	1	
	walking	1	6	0	72	

		Prediction				
		stair_up	stair_dow n	standing	walking	
Reality	SVM	stair_up	7	0	0	15
	stair_down	1	12	1	20	
	standing	0	0	12	3	
	walking	0	1	0	78	

		Prediction				
		stair_up	stair_dow n	standing	walking	
Reality	KNN	stair_up	8	5	0	9
	stair_down	1	15	1	17	
	standing	1	0	13	1	
	walking	0	7	1	71	

		Prediction				
		stair_up	stair_dow n	standing	walking	
Reality	Decision Tree	stair_up	15	1	4	2
	stair_down	0	22	0	12	
	standing	3	0	11	1	
	Walking	0	5	1	73	

Table 3: Confusion matrix on the test data by using ensemble models (Bagging)

		Prediction				
		stair_up	stair_dow n	standing	walking	
Reality	Logistic ridge	stair_up	7	5	0	10
	stair_down	2	12	1	19	
	standing	0	0	13	2	
	walking	0	5	2	72	

Logistic with LASSO					
Reality	stair_up	5	2	0	15
	stair_down	1	14	1	18
	standing	1	0	12	3
	walking	1	5	0	76

SVM					
Reality	stair_up	5	8	0	9
	stair_down	1	15	0	18
	Standing	0	0	12	3
	Walking	0	3	0	76

KNN					
Reality	stair_up	8	5	0	9
	stair_down	1	17	1	15
	standing	1	0	13	1
	walking	1	6	2	70

Decision Tree					
Reality	stair_up	20	0	0	2
	stair_down	0	30	0	4
	Standing	2	0	13	0
	Walking	0	2	0	77

Table 5: Confusion matrix by using random forest

		Prediction			
		stair_up	stair_down	standing	walking
Random forest	stair_up	21	0	0	1
	stair_down	0	34	0	0
	Standing	3	0	11	1
	Walking	0	0	0	79

IV. CONCLUSION

This paper deals with human activity recognition task by use of machine learning algorithms. Through this paper, we suited some usual supervised estimators for classification purpose and compared them according to their accuracies on the human activity prediction by using cell phone accelerometer data. The comparison focused on the analysis of base estimators and their meta-estimator from bagging according to their ability to recognize between walking, walking to up stair, walking to down stair

and standing. From our analysis, we note two main results. First, the weakness of parametric estimator to under fit HAR despite activity the use of ensemble method. Second the weakness of non-parametric relatively to their ability to over fit the accelerometer data for HAR task. However, the numerical experiment shows that bagging improves significantly the accuracy of decision tree. Therefore the bagging or its generalization (random forest) allows to decision tree to get the same accuracy like the complex deep learning approach.

For the next, we focus our work on the design of deep model base on the mixture of deep neural network such as CNN, RNN (Recurrent Neural Network) to overcome human activity recognition in which several similar activities are going to be considered.

REFERENCES

- [1] N. Ahmed, J. I. Rafiq, and M. R. Islam, 'Enhanced Human Activity Recognition Based on Smartphone Sensor Data Using Hybrid Feature Selection Model', *Sensors*, vol. 20, no. 1, p. 317, Jan. 2020, doi: 10.3390/s20010317.
- [2] C. Jobanputra, J. Bavishi, and N. Doshi, 'Human Activity Recognition: A Survey', *Procedia Comput. Sci.*, vol. 155, pp. 698–703, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.08.100.
- [3] S. Balli, E. A. Sağbaş, and M. Peker, 'Human activity recognition from smart watch sensor data using a hybrid of principal component analysis and random forest algorithm', *Meas. Control*, vol. 52, no. 1–2, pp. 37–45, Jan. 2019, doi: 10.1177/0020294018813692.
- [4] D. Anguita, A. Ghio, L. Oneto, F. X. Llanas Parra, and J. L. Reyes Ortiz, 'Human activity recognition on smartphones for mobile context awareness', 2012, pp. 1–9, Accessed: Mar. 24, 2021. [Online]. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/22167>.
- [5] J. R. Kwapisz, G. M. Weiss, and S. A. Moore, 'Activity recognition using cell phone accelerometers', *ACM SIGKDD Explor. Newsl.*, vol. 12, no. 2, pp. 74–82, Mar. 2011, doi: 10.1145/1964897.1964918.
- [6] D. Browne, M. Giering, and S. D. Prestwich, 'Deep Learning Human Activity Recognition', *CEUR Workshop Proc.*, vol. 2563, pp. 76–87, Dec. 2019.
- [7] N. S. Suriani and A. N. Rashid, 'Smartphone Sensor Accelerometer Data for Human Activity Recognition Using Spiking Neural Network', *Int. J. Mach. Learn. Comput.*, vol. 11, no. 4, p. 6, 2021.
- [8] D. Hendry, K. Chai, A. Campbell, L. Hopper, P. O'Sullivan, and L. Straker, 'Development of a

Human Activity Recognition System for Ballet Tasks', *Sports Med. - Open*, vol. 6, no. 1, p. 10, Feb. 2020, doi: 10.1186/s40798-020-0237-5.

[9] T. Hastie, R. Tibshirani, and J. Friedman, *The Elements of Statistical Learning: Data Mining,*

Inference, and Prediction, Second Edition, 2nd edition. New York, NY: Springer, 2016.

[10] S. Tuffery, *Modelisation predictive et apprentissage statistique avec R*. Paris: Technip, 2015.

MATHEMATIQUES

PHYSICS IN BRA-KET PRODUCT

Bréhima Dembélé

Pharmacie du Nouveau Pont
BP 403, Kayes, MALI
nouvpoint@orangemali.net

Abstract

New physics needs probably another mathematical point of view. Bra-Ket Product formalism is introduced to show how classical physics looks like. New tensor fields are proposed, that enables us to distinguish a fundamental theory of physics from a simple formalism and to deduce that electromagnetism is neither a formalism nor a fundamental theory one. Ways are suggested to find the physics of all.

Keywords Bra-Ket Product, Formalism, Physics of all

1 METHODS AND RESULTS

1.1 JOSEPH LOUIS LAGRANGE AND SIMEON DENIS POISSON FIELDS

$$A_{\alpha\beta}^{\epsilon_1\epsilon_2} [dup, \partial_{up}] = A_{\alpha\beta}^{\epsilon_1\epsilon_2} [d_{\alpha\beta}, t_{\alpha\beta}] \quad (1)$$

The left hand side term in equation above is Lagrange field and the right is Poisson field.

$$\begin{cases} \epsilon_1 A_{\alpha} [du, \partial_u] - \epsilon_2 A_{\beta} [dp, \partial_p] \\ = \epsilon_1 A_{\alpha} [d_{\alpha}, t_{\alpha}] - \epsilon_2 A_{\beta} [d_{\beta}, t_{\beta}] \end{cases} \quad (2)$$

$$\epsilon_1 A_{\alpha} du \partial_u - \epsilon_2 A_{\beta} dp \partial_p = \epsilon_1 A_{\alpha} d_{\alpha} t_{\alpha} - \epsilon_2 A_{\beta} d_{\beta} t_{\beta} \quad (3)$$

$$\begin{cases} d_{\alpha} = d \\ d_{\beta} = -\partial \\ t_{\alpha} = t_{\beta} = t \end{cases} \quad (4)$$

$$\epsilon_1 du \partial_u A_{\alpha} - \epsilon_2 dp \partial_p A_{\beta} = \epsilon_1 d_t A_{\alpha} + \epsilon_2 \partial_t A_{\beta} \quad (5)$$

$$\epsilon_1 \frac{d}{dt} A_{\alpha} = -\epsilon_2 \frac{\partial}{\partial t} A_{\beta} + \epsilon_1 \frac{du}{dt} \frac{\partial}{\partial u} A_{\alpha} - \epsilon_2 \frac{dp}{dt} \frac{\partial}{\partial P} A_{\beta} \quad (6)$$

If

$$\begin{cases} \epsilon_1 = -\epsilon_2 \\ \alpha = \beta \end{cases} \quad (7)$$

then

$$\frac{d}{dt} A = \frac{\partial}{\partial t} A + \frac{du}{dt} \frac{\partial}{\partial u} A + \frac{dp}{dt} \frac{\partial}{\partial P} A \quad (8)$$

That equation (8) is equivalent to the usual Lagrange-Poisson equation in analytical mechanics [1].

1.2 JOSEPH LOUIS LAGRANGE AND WILLIAM ROWAN HAMILTON FIELDS

$$A_{\alpha\beta}^{\epsilon_1\epsilon_2} [dup, \partial_{up}] = A_{\alpha\beta} [1, H] \quad (9)$$

The right hand side term is Hamilton field with H the hamiltonian.

$$\epsilon_1 A_{\alpha} [du, \partial_u] - \epsilon_2 A_{\beta} [dp, \partial_p] = [A_{\alpha\beta}, H] \quad (10)$$

$$\epsilon_1 A_{\alpha} du \partial_u - \epsilon_2 A_{\beta} dp \partial_p = [A_{\alpha\beta}, H] \quad (11)$$

$$\epsilon_1 \frac{du}{dt} \frac{\partial}{\partial u} A_{\alpha} - \epsilon_2 \frac{dp}{dt} \frac{\partial}{\partial P} A_{\beta} = [A_{\alpha\beta}, H] \quad (12)$$

If

$$\begin{cases} \epsilon_1 = -\epsilon_2 = \epsilon \\ \alpha = \beta \end{cases} \quad (13)$$

then

$$\frac{du}{dt} \frac{\partial}{\partial u} A + \frac{dp}{dt} \frac{\partial}{\partial P} A = \frac{1}{\epsilon} [A, H] \quad (14)$$

Above, equation (14) is equivalent to the usual Poisson bracket equation in analytical mechanics [1]. By commodity,

$$\begin{cases} \epsilon = -ih \\ [A, H] = \epsilon \{A, H\} \end{cases} \quad (15)$$

1.3 SIMEON DENIS POISSON AND WILLIAM ROWAN HAMILTON FIELDS: PAUL EHRENFEST EQUATION

Ehrenfest hasn't a field. But equalizing Poisson field and Hamilton field, his equation is obtained as follows.

$$A_{\alpha\beta}^{\epsilon_1\epsilon_2} [d_{\alpha\beta}, t_{\alpha\beta}] = A_{\alpha\beta} [1, H] \quad (16)$$

$$A_{\alpha\beta}^{\epsilon_1\epsilon_2} [d_{\alpha\beta}, t_{\alpha\beta}] = [A_{\alpha\beta}, H] \quad (17)$$

$$\epsilon_1 A_{\alpha} d_{\alpha} t_{\alpha} - \epsilon_2 A_{\beta} [d_{\beta}, t_{\beta}] = [A_{\alpha\beta}, H] \quad (18)$$

$$\epsilon_1 d_t A_{\alpha} + \epsilon_2 \partial_t A_{\beta} = [A_{\alpha\beta}, H] \quad (19)$$

$$\epsilon_1 \frac{d}{dt} A_{\alpha} = -\epsilon_2 \frac{\partial}{\partial t} A_{\beta} + [A_{\alpha\beta}, H] \quad (20)$$

If

$$\begin{cases} \epsilon_1 = -\epsilon_2 = \epsilon \\ \alpha = \beta \end{cases} \quad (21)$$

then

$$\frac{d}{dt} A = \frac{\partial}{\partial t} A + \frac{1}{\epsilon} [A, H] \quad (22)$$

where the operator A is choosen as an expectation of measurements of an observable [2]

1.4 EULER-LAGRANGE EQUATION

δ is the variational; let by a frame changing

$$up = X_{\alpha\beta} \quad (23)$$

X is a generalized coordinate and, so \dot{X} its time derivative.

$$\delta_{\alpha\beta} \left(A_{\alpha\beta}^{\epsilon_1\epsilon_2} [dup, \partial_{up}] \right) = \delta_{\alpha\beta} \left(A_{\alpha\beta}^{\epsilon_1\epsilon_2} [dX_{\alpha\beta}, \partial_{X_{\alpha\beta}}] \right) = 0 \quad (24)$$

$$\epsilon_1 A_{\alpha} \delta_{\alpha} [dX_{\alpha}, \partial_{X_{\alpha}}] - \epsilon_2 A_{\beta} \delta_{\beta} [dX_{\beta}, \partial_{X_{\beta}}] = 0 \quad (25)$$

with

$$\begin{cases} \delta_{\alpha} = \delta X \\ \delta_{\beta} = \delta \dot{X} \\ dX_{\alpha} = -X \\ dX_{\beta} = \dot{X} \\ \partial_{X_{\alpha}} = \partial_{X_{\beta}} = \partial \end{cases} \quad (26)$$

$$\epsilon_1 A_{\alpha} \delta X [-X, \partial] - \epsilon_2 A_{\beta} \delta \dot{X} [\dot{X}, \partial] = 0 \quad (27)$$

$$\epsilon_1 A_{\alpha} \delta X \partial_X + \epsilon_2 A_{\beta} d_t \delta X \partial_{\dot{X}} = 0 \quad (28)$$

$$\epsilon_2 d_t \partial_X A_{\beta} + \epsilon_1 \partial_X A_{\alpha} = 0 \quad (29)$$

If

$$\begin{cases} \epsilon_1 = -\epsilon_2 \\ \alpha = \beta \end{cases} \quad (30)$$

then, [3]

$$d_t \partial_X A - \partial_X A = 0 \quad (31)$$

[5] and [6]

1.5 MIKHAIL Vassilievitch OSTROGRADSKI EQUATION

As Euler, he hasn't a specific field but he takes variational of Lagrange field and gets what is named after him, with a new frame changing; ϕ and ψ are other fields.

$$\begin{cases} dX_{\alpha\beta} = \phi_{\alpha\beta} \\ \partial_{X_{\alpha\beta}} = \partial_{\alpha\beta} \end{cases} \quad (32)$$

$$\delta_{\alpha\beta} \left(L_{\alpha\beta}^{\epsilon_1\epsilon_2} [\phi_{\alpha\beta}, \partial_{\alpha\beta}] \right) = 0 \quad (33)$$

$$\epsilon_1 L_{\alpha} \delta_{\alpha} [\phi_{\alpha}, \partial_{\alpha}] - \epsilon_2 L_{\beta} \delta_{\beta} [\phi_{\beta}, \partial_{\beta}] = 0 \quad (34)$$

with

$$\begin{cases} \delta_{\alpha} = \delta \phi_i = \delta \phi_j = \partial_u dt = d \\ \delta_{\beta} = \delta \dot{\phi}_j = -\partial_{\phi_j} \delta \phi_j \\ \partial_{\alpha} = \partial_{\beta} = \partial \\ \partial_{\phi_j} = \partial_{u_j} \\ \phi_{\alpha} = -\phi_i \\ \phi_{\beta} = -\psi_i = -\partial_{u_j} \phi_i \\ \partial_{\psi_i} = \partial_{\partial_{u_j} \phi_i} = \frac{\partial}{\partial \left(\frac{\partial}{\partial u_j} \phi_i \right)} = -\partial \phi_{\beta} = \partial_i \end{cases} \quad (35)$$

$$\epsilon_1 L_{\alpha} \delta \phi_i [-\phi_i, \partial] - \epsilon_2 L_{\beta} \delta \dot{\phi}_j [-\psi_i, \partial] = 0 \quad (36)$$

$$\epsilon_1 L_{\alpha} \delta \phi_i \partial_{\phi_i} + \epsilon_2 L_{\beta} \delta \dot{\phi}_j \partial_{\phi_j} \partial_{\psi_i} = 0 \quad (37)$$

$$\epsilon_1 \partial_{\phi_i} L_{\alpha} + \epsilon_2 \partial_{\phi_j} \partial_{\psi_i} L_{\beta} = 0 \quad (38)$$

$$\epsilon_1 \frac{\partial}{\partial \phi_i} L_{\alpha} + \epsilon_2 \frac{\partial}{\partial \phi_j} \left[\frac{\partial}{\partial \left(\frac{\partial}{\partial u_j} \phi_i \right)} L_{\beta} \right] = 0 \quad (39)$$

$$\epsilon_1 \frac{\partial}{\partial \phi_i} L_{\alpha} + \epsilon_2 \frac{\partial}{\partial u_j} \left[\frac{\partial}{\partial \left(\frac{\partial}{\partial u_j} \phi_i \right)} L_{\beta} \right] = 0 \quad (40)$$

If

$$\begin{cases} \epsilon_1 = -\epsilon_2 \\ \alpha = \beta \end{cases} \quad (41)$$

then, [7]

$$\frac{\partial}{\partial \phi_i} L - \frac{\partial}{\partial u_j} \left[\frac{\partial}{\partial \left(\frac{\partial}{\partial u_j} \phi_i \right)} L \right] = 0 \quad (42)$$

1.6 JAMES MAXWELL CLERK EQUATION

From Euler-Lagrange equation below

$$\epsilon_2 d_t \partial_u L_\beta + \epsilon_1 \partial_u L_\alpha = 0 \quad (43)$$

Let $R_1(x^\mu, \tau)$ and $R_2(u, t)$ 2 frames where the first is supposed moving uniformly from the second. The action S is

$$\begin{cases} S_\alpha^{ij} = L_\alpha^{ij} \int d\tau_\alpha^{ij} \\ L_\alpha^{ij} = L_\alpha^i - L_\alpha^j \\ L_\alpha^i = T = mc^2 \\ L_\alpha^j = U = e\mathbf{A} \end{cases} \quad (44)$$

with e the particle charge, m the mass and c the speed of photon in vaccum, \mathbf{A} is a vector field.

In $R_1(x^\mu, \tau)$, where τ is the proper time; the action is

$$S_\alpha^{ij} = \int (-mc^2 - e\mathbf{A}) d\tau_\alpha^{ij} \quad (45)$$

In $R_2(u, t)$, after Lorentz-Poincaré's laws in special relativity, space-time configuration is in vaccum

$$\begin{cases} d\tau_\alpha^i = dt \sqrt{1 - \frac{\dot{u}^2}{c^2}} \\ \dot{u} = d_t u \\ d\tau_\alpha^j = \frac{dx^\mu}{c} = \frac{1}{c} (-\dot{u}dt + c \frac{\phi}{\mathbf{A}} dt) \end{cases} \quad (46)$$

where ϕ is a scalar field; and the action is finally function as t

$$S_\alpha^{ij} = S_\alpha = \int -mc^2 d\tau_\alpha^i - \int e\mathbf{A} d\tau_\alpha^j \quad (47)$$

$$S_\alpha = \int -mc^2 \sqrt{1 - \frac{\dot{u}^2}{c^2}} dt - \int \frac{e}{c} \mathbf{A} \left(-\dot{u}dt + c \frac{\phi}{\mathbf{A}} dt \right) \quad (48)$$

For photon, $m = 0$ and S is simply

$$S_\alpha = \int \frac{e}{c} \mathbf{A} \left(\dot{u} - c \frac{\phi}{\mathbf{A}} \right) dt \quad (49)$$

We know that

$$S_\alpha = \int L_\alpha d\tau \quad (50)$$

and

$$\nabla S_\alpha = \int \partial_u L_\alpha d\tau \quad (51)$$

then

$$\nabla(S_\alpha)' = \partial_u L_\alpha \quad (52)$$

$$\frac{e}{c} \nabla(\mathbf{A} \cdot \dot{u}) - e \nabla \phi = \partial_u L_\alpha \quad (53)$$

After vector calculus rules, (remember GRADIENT rule) we get

$$\begin{cases} \partial_u L_\alpha = \frac{e}{c} [(\mathbf{A} \cdot \nabla) \dot{u} + (\dot{u} \cdot \nabla) \mathbf{A}] \\ + \frac{e}{c} [\dot{u} \times (\nabla \times \mathbf{A}) + \mathbf{A} \times (\nabla \times \dot{u})] - e \nabla \phi \end{cases} \quad (54)$$

After particle derivative, the 2^{nd} term of the right hand side of equation (54) becomes

$$\begin{cases} \partial_u L_\alpha = \frac{e}{c} [(\mathbf{A} \cdot \nabla) \dot{u} + (D_t \mathbf{A} - \partial_t \mathbf{A})] \\ + \frac{e}{c} [\dot{u} \times (\nabla \times \mathbf{A}) + \mathbf{A} \times (\nabla \times \dot{u})] - e \nabla \phi \end{cases} \quad (55)$$

$$\begin{cases} \partial_u L_\alpha = -\frac{e}{c} \partial_t \mathbf{A} - e \nabla \phi + \frac{e}{c} \dot{u} \times (\nabla \times \mathbf{A}) \\ (\mathbf{A} \cdot \nabla) \dot{u} + D_t \mathbf{A} + \mathbf{A} \times (\nabla \times \dot{u}) = 0 \end{cases} \quad (56)$$

taking account that $\nabla(\dot{u} \cdot \mathbf{A}) = D_t \mathbf{A}$

$$\partial_u L_\alpha = e \left(-\frac{1}{c} \partial_t \mathbf{A} - \nabla \phi \right) + \frac{e}{c} \dot{u} \times (\nabla \times \mathbf{A}) \quad (57)$$

$$\partial_u L_\beta = e \left(-\frac{1}{c} \partial_t \mathbf{A} - \nabla \phi \right) + \frac{e}{c} \dot{u} \times (\nabla \times \mathbf{A}) \quad (58)$$

$$P_\beta = e \left(-\frac{1}{c} \partial_t \mathbf{A} - \nabla \phi \right) + \frac{e}{c} \dot{u} \times (\nabla \times \mathbf{A}) \quad (59)$$

$$P_\beta = e \mathbf{E} + \frac{e}{c} \dot{u} \times \mathbf{B} \quad (60)$$

If

$$\begin{cases} \partial_u L_\beta = P_\beta \\ L_\alpha = -mc^2 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} - e\phi - \frac{e}{c} (\mathbf{A} \cdot \dot{u}) \end{cases} \quad (61)$$

then, for $m = 0$, c the speed of photon in vaccum, \dot{u} speed of move

$$\epsilon_2 d_t P_\beta + \epsilon_1 \left[\frac{e}{c} \partial_u (\mathbf{A} \cdot \dot{u}) - e \partial_u (\phi) \right] = 0 \quad (62)$$

$$\epsilon_2 d_t P_\beta + \epsilon_1 \left[\frac{e}{c} \nabla_{\alpha\beta} (\mathbf{A} \cdot \dot{c}) - e \nabla_{\alpha\beta} (\phi) \right] = 0 \quad (63)$$

[7] and [8]

1.7 BERNHARD.RIEMANN-BRUNO.CHRISTOFFEL AND ALBERT.EINSTEIN FIELDS

We define a new Hermann Weyl tensor field that retrieves the classic Riemann-Christoffel's one as below [9], [10] and [11]

$$H_{\mu\lambda\nu}^{\rho\sigma} = \partial_{\lambda\mu\nu} \left(\Gamma_{\nu\mu\lambda}^\rho \right) + \Gamma_{\lambda\mu\nu}^\sigma \left(\Gamma_{\nu\sigma\lambda}^\rho \right) + V_{\mu\lambda\nu}^{\rho\sigma} \quad (64)$$

with Γ the Christoffel symbol and $V_{\mu\lambda\nu}^{\rho\sigma}$ the vaccum tensor and by commodity we further replaces ∂ by ∇ .

$$\begin{cases} H_{\mu\lambda\nu}^{\rho\sigma} = \nabla_{\lambda\mu} \left(\Gamma_{\nu\mu\lambda}^\rho \right) - \nabla_{\mu\nu} \left(\Gamma_{\nu\mu\lambda}^\rho \right) - \nabla_{\nu\lambda} \left(\Gamma_{\nu\mu\lambda}^\rho \right) \\ + \Gamma_{\lambda\mu}^\sigma \left(\Gamma_{\nu\sigma\lambda}^\rho \right) - \Gamma_{\mu\nu}^\sigma \left(\Gamma_{\nu\sigma\lambda}^\rho \right) - \Gamma_{\nu\lambda}^\sigma \left(\Gamma_{\nu\sigma\lambda}^\rho \right) + V_{\mu\lambda\nu}^{\rho\sigma} \end{cases} \quad (65)$$

We use the following indice reducing rule: Remained indice of outside field goes away inside, vis versa.

$$\begin{cases} H_{\mu\lambda\nu}^{\rho\sigma} = \nabla_\lambda (\Gamma_{\nu\mu}^\rho) - \nabla_\mu (\Gamma_{\nu\lambda}^\rho) - \nabla_\nu (\Gamma_{\mu\lambda}^\rho) \\ + \Gamma_{\lambda\mu}^\sigma (\Gamma_{\nu\sigma}^\rho) - \Gamma_{\mu\nu}^\sigma (\Gamma_{\sigma\lambda}^\rho) - \Gamma_{\nu\lambda}^\sigma (\Gamma_{\sigma\mu}^\rho) + V_{\mu\lambda\nu}^{\rho\sigma} \end{cases} \quad (66)$$

$$H_{\mu\lambda\nu}^{\rho\sigma} = R_{\mu\lambda\nu}^{\rho\sigma} + V_{\mu\lambda\nu}^{\rho\sigma} - [\nabla_\nu (\Gamma_{\mu\lambda}^\rho) + \Gamma_{\nu\lambda}^\sigma (\Gamma_{\sigma\mu}^\rho)] \quad (67)$$

with $R_{\mu\lambda\nu}^{\rho\sigma}$ the Riemann-Christoffel tensor. The condition to retrieve the Riemann-Christoffel tensor is what we name the move condition below

$$V_{\mu\lambda\nu}^{\rho\sigma} - [\nabla_\nu (\Gamma_{\mu\lambda}^\rho) + \Gamma_{\nu\lambda}^\sigma (\Gamma_{\sigma\mu}^\rho)] = W_{\nu\lambda\mu}^{\rho\sigma} = 0 \quad (68)$$

$W_{\nu\lambda\mu}^{\rho\sigma}$ is the Hermann Weyl tensorial factor of space-time.

Bianchi second identity is known as the circular derivative of $R_{\mu\lambda\nu}^{\rho\sigma}$.

$$\nabla_{\lambda\nu\mu} (R_{\mu\lambda\nu}^{\rho\sigma}) = 0 \quad (69)$$

$$\nabla_{\lambda\nu\mu} (R_{\mu\lambda\nu}^{\rho\sigma}) = \nabla_{\lambda\mu} (R_{\mu\lambda\nu}^{\rho\sigma}) - [\nabla_{\nu\mu} (R_{\mu\lambda\nu}^{\rho\sigma}) + \nabla_{\nu\lambda} (R_{\mu\lambda\nu}^{\rho\sigma})] = 0 \quad (70)$$

By reducing indices we get

$$\nabla_{\lambda\nu\mu} (R_{\mu\lambda\nu}^{\rho\sigma}) = \nabla_\lambda (R_{\mu\nu}^{\rho\sigma}) - \nabla_\mu (R_{\lambda\nu}^{\rho\sigma}) - \nabla_\nu (R_{\mu\lambda}^{\rho\sigma}) = 0 \quad (71)$$

$$\nabla_{\lambda\nu\mu} (R_{\mu\lambda\nu}^{\rho\sigma}) = \nabla_\lambda (R_{\mu\nu}^{\rho\sigma}) + \nabla_\mu (R_{\nu\lambda}^{\rho\sigma}) + \nabla_\nu (R_{\lambda\mu}^{\rho\sigma}) = 0 \quad (72)$$

Contracting indices two times respectively of the second Bianchi identity, the Ricci and the Einstein conservative tensors are obtained.

$$\begin{cases} g^{\rho\lambda} [g^{\sigma\nu} [\nabla_{\lambda\nu\mu} (R_{\mu\lambda\nu}^{\rho\sigma})]] = 0 \\ \iff \nabla_\mu (R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R + \Lambda g_{\mu\nu}) = 0 \end{cases} \quad (73)$$

with $R_{\mu\nu}$ the Ricci tensor, $g_{\mu\nu}$ the metric tensor, $R = g^{\mu\nu}R_{\mu\nu}$ the Ricci curvature scalar, Λ the cosmic repulsion constant and $R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = G_{\mu\nu}$ the Einstein tensor .

We remember an equation of general relativity as $G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = kT_{\mu\nu}$, k is a constant and $T_{\mu\nu}$ the energy-impulsion tensor.

To conciliate General Relativity with Quantum Mechanics, we let [12]

$$\nabla_\mu G_{\mu\nu} = 0 \quad (74)$$

$\forall \phi$ a field in the 4 dimensional space-time,

$$\nabla_\mu G_{\mu\nu} [\phi_{\alpha\beta}] = 0 \quad (75)$$

$$\nabla_\mu (G_\mu [\phi_\alpha, \phi_\beta] - G_\nu [\phi_\alpha, \phi_\beta]) = 0 \quad (76)$$

$$\nabla_\mu = g^{\mu\nu}\nabla_\nu \Rightarrow g^{\mu\nu}\nabla_\nu G_\mu [\phi_\alpha, \phi_\beta] - \nabla_\mu G_\nu [\phi_\alpha, \phi_\beta] = 0 \quad (77)$$

$\exists \psi$ a field in the 4 dimensional space-time such as

$$\begin{cases} G_\mu [\phi_\alpha, \phi_\beta] = \nabla_\mu \psi_\alpha \\ G_\nu [\phi_\alpha, \phi_\beta] = \nabla_\nu \psi_\beta \end{cases} \quad (78)$$

$$\Rightarrow g^{\mu\nu}\nabla_\nu \nabla_\mu \psi_\alpha - \nabla_\mu \nabla_\nu \psi_\beta = 0 \quad (79)$$

Moreover

$$\begin{cases} \nabla_\mu \nabla_\nu \psi_\beta = -\left(\frac{m\epsilon}{\hbar}\right)^2 \psi_\alpha \\ \Rightarrow g^{\mu\nu}\nabla_\nu \nabla_\mu \psi_\alpha + \left(\frac{m\epsilon}{\hbar}\right)^2 \psi_\alpha = 0 \end{cases} \quad (80)$$

The last equation is Klein-Gordon-Fock equation of Quantum Mechanics where m is the rest mass and c the speed of light.

We deduct the equation to explore for the Physics of all [13], [14]

:

$$\begin{cases} \delta_{\alpha\beta} H_{\mu\lambda\nu}^{\rho\sigma} = 0 \\ \nabla_{\lambda\nu\mu} (H_{\mu\lambda\nu}^{\rho\sigma}) = 0 \end{cases} \quad (81)$$

2 ACKNOWLEDGEMENTS

Special thank is offer to our friends Dr Doulaye Dembélé, ingeneer and bio computer scientist, C.N.R.S France and Pr Fad Seydou, mathematician in Mali, who continuously filled the gaps in our non professional style.

3 CONCLUSION

By Bra-Ket product formalism, we have laid new writing rules of Physics. Also, the equivalence between Classic Mechanics and Quantum Mechanics appeared obviously. New Physics of all main roots are introduced.

4 BIBLIOGRAPHY

- [1] Jonathan Ferreira. *Cours de Mécanique Analytique. Licence et Magistere de Physique. Université Joseph Fourier. France.*
- [2] Erhenfest theorem in precanonical quantization. I. V. Kanatchikov. *arXiv: 1501. 00480v3 [hep - th]*

6 Apr 2015.

[3] [https://en.wikipedia.org/wiki/Euler-Lagrange equation](https://en.wikipedia.org/wiki/Euler-Lagrange_equation)

[4] Edward Desloge. The Gibbs-Appel equations of motion. *American Journal of physics, American Association of Physics Teachers, 1988, 56 (9), pp.841-841.10.1119/1.15463.hal-01399766*.

[5] [https://en.wikipedia.org/wiki/Routhian mechanics](https://en.wikipedia.org/wiki/Routhian_mechanics)

[6] Cours de J. Bruchon. *Mecanique Analytique. Toolbox nanophysique. Ecole des Mines de Saint-Etienne. Centre SMS, pp53-56. Nov-Dec 2017*.

[7] The first-order Euler-Lagrange equations and some of their uses. *JHEP12 (2016) 047. arXiv eprint: 1609.02154*.

[8] B.Dembélé. The Field ∇ in BRA-KET PRODUCT in *Proceedings of MSAS 2021. Mali*.

[9] [https://en.wikipedia.org/wiki/General relativity](https://en.wikipedia.org/wiki/General_relativity)

[10] [https://en.wikipedia.org/wiki/Riemann curvature tensor](https://en.wikipedia.org/wiki/Riemann_curvature_tensor)

[11] [https://en.wikipedia.org/wiki/Weyl tensor](https://en.wikipedia.org/wiki/Weyl_tensor)

[12] A gravito-electromagnetic analogy based on tidal tensors. L. Filipe Costa and Carlos A. R. Heideiro. *arXiv: gr-qc/0612140v2, 21 May 2007*

[13] Beyond Einstein's General Relativity. Francisco S. N. Lobo. *arXiv: 1412.0867v3 [gr - qc] 30 Dec 2014*.

[14] Interpretation of the Weyl tensor. Stefan Hofmann, Florian Niedermann and Robert Schneider. *arXiv: 1308.0010v2 [gr - qc] 24 Oct 2013*

THE FIELD ∇ IN BRA-KET PRODUCT

Bréhima Dembélé (nouvpont@orangemali.net)

Pharmacie du Nouveau Pont
BP 403, Kayes, MALI

Abstract

Bra-Ket Product is a new formalism we introduced in 2018 by 5 consistent rules and few tools. Now, focus is how the field ∇ reacts with other fields. In the 3-dimensional euclidian and oriented space, an exterior field ∇ has 2 components, one in each direction. We aimed to recover easily all classical computation concerned.

Keywords Bra-Ket Product, formalism, ∇ .

1 INTRODUCTION

Nabla is a vector field independant from the coordinate system and acts as linear operator. It's also called gradient and noted **grad**. The divergence or div noted $\nabla \cdot$, the rotational or curl noted $\nabla \times$ are others fields ∇ .

2 METHODS AND RESULTS

2.1 The gradient operator or grad noted ∇

2.1.1 Grad In Scalar Product

It transforms all interior field (A, B) , in the common direction (u, v) into two stable or unstable fields .

$$\nabla_{uv}^{\epsilon_1 \epsilon_2} (A, B) = \nabla_u^{\epsilon_1} (A, B) - \nabla_v^{\epsilon_2} (A, B) \quad (1)$$

Precisely, for an interior scalar field, the right hand side fields we called 1st generation fields are unstable.

$$\nabla_{uv}^{\epsilon_1 \epsilon_2} (A \cdot B) = \nabla_u^{\epsilon_1} (A \cdot B) - \nabla_v^{\epsilon_2} (A \cdot B) \quad (2)$$

[1]

$$\nabla_{uv}^{\epsilon_1 \epsilon_2} (A \cdot B) = \epsilon_1 \nabla_u (A \cdot B) - \epsilon_2 \nabla_v (A \cdot B) \quad (3)$$

By commodity, in the 3 dimension euclidian space, we let $\epsilon_1 = -$ $\epsilon_2 = +1$, then equation (2) becomes

$$\nabla_{uv} (A \cdot B) = \nabla_u (A \cdot B) + \nabla_v (A \cdot B) \quad (4)$$

In the direction of u

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla_u^{\epsilon_1} (A \cdot B) = \epsilon_1 A \cdot (B \nabla_u) - \epsilon_1 B \cdot (\nabla_u A) \\ = -A \cdot (\nabla_u B) - B \cdot (\nabla_u A) \\ \text{By strong permeation} \\ \nabla_u (A \cdot B) = (A \cdot \nabla_u) B + (B \cdot \nabla_u) A \end{array} \right. \quad (5)$$

And in the direction of v, \cdot is replaced by \times

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla_v^{\epsilon_2} (A \cdot B) = \epsilon_2 A \times (B \times \nabla_v) - \epsilon_2 B \times (\nabla_v \times A) \\ \nabla_v (A \cdot B) = B \times (\nabla_v \times A) + A \times (\nabla_v \times B) \end{array} \right. \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla_{uv} (A \cdot B) = (A \cdot \nabla_u) B + (B \cdot \nabla_u) A + B \times (\nabla_v \times A) \\ + A \times (\nabla_v \times B) \end{array} \right. \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} u = v \implies \nabla (A \cdot B) = (A \cdot \nabla) B + (B \cdot \nabla) A \\ + B \times (\nabla \times A) + A \times (\nabla \times B) \end{array} \right. \quad (8)$$

2.1.2 GRAD in Geometric Connection of Koszul, Ehresmann or Levi-Civita's

Assume $\text{Var}(M, g)$ a remanian variety and a, b, c, Y, Z are 5 vectors fields on its tangent space [2]

Let

$$[a \cdot g(Y, Z)] \equiv [\nabla_a(Y, Z)]g \quad (9)$$

$[a \cdot g(Y, Z)]$ is classically defined as,

$$[a \cdot g(Y, Z)] = [\nabla(Y, Z) + \nabla(Z, Y)]g \quad (10)$$

We calculate the following term $[\nabla_{abc}^{\epsilon_1 \epsilon_2}(Y, Z)]g$:

$$[\nabla_{abc}^{\epsilon_1 \epsilon_2}(Y, Z)]g = [\nabla_{ab}^{\epsilon_1}(Y, Z) - \nabla_{ac}^{\epsilon_2}(Y, Z)]g \quad (11)$$

$$[\nabla_{abc}(Y, Z)]g = [\nabla_{ab}(Y, Z) + \nabla_{ca}(Z, Y)]g \quad (12)$$

By circular equality into the suite *abc*

$$\begin{cases} ab = bc = ca \implies [\nabla_a(Y, Z)]g = \\ [\nabla(Y, Z) + \nabla(Z, Y)]g \end{cases} \quad (13)$$

Thus

$$[\nabla_a(Y, Z)]g = [a \cdot g(Y, Z)] \quad (14)$$

2.1.3 GRAD in linear differential Operator of Tensors Product

$$\nabla_{uv}^{\epsilon_1 \epsilon_2}(\phi \otimes \psi) = \nabla_u^{\epsilon_1}(\phi \otimes \psi) - \nabla_v^{\epsilon_2}(\phi \otimes \psi) \quad (15)$$

$$\nabla_{uv}^{\epsilon_1 \epsilon_2}(\phi \otimes \psi) = \epsilon_1 \nabla_u(\phi \otimes \psi) - \epsilon_2 \nabla_v(\phi \otimes \psi) \quad (16)$$

$$\nabla_{uv}(\phi \otimes \psi) = \nabla_u(\phi \otimes \psi) - \nabla_v(\psi \otimes \phi) \quad (17)$$

By strong permeation

$$\nabla_{uv}(\phi \otimes \psi) = -(\nabla_u \phi) \otimes \psi + (\nabla_v \psi) \otimes \phi \quad (18)$$

$$u = v \implies \nabla(\phi \otimes \psi) = \psi \otimes (\nabla \phi) + (\nabla \psi) \otimes \phi \quad (19)$$

2.1.4 GRAD in directional derivative upon Lie brakett

Let

$$\nabla_{[X, Y]}f \equiv -\nabla[X, Y]f \quad (20)$$

Classically by definition

$$\nabla_{[X, Y]} = \nabla_X Y - \nabla_Y X \quad (21)$$

We calculate the following term $-\nabla_{uv}^{\epsilon_1 \epsilon_2}[X, Y]$:

$$\nabla_{uv}^{\epsilon_1 \epsilon_2}[X, Y] = \nabla_u^{\epsilon_1}[X, Y] - \nabla_v^{\epsilon_2}[X, Y] \quad (22)$$

$$\nabla_{uv}[X, Y] = \nabla_u[X, Y] - \nabla_v[Y, X] \quad (23)$$

By strong permeation

$$-\nabla_{uv}[X, Y] = [\nabla_u, X]Y - [\nabla_v, Y]X \quad (24)$$

$$\begin{cases} -\nabla_{uv}[X, Y] = \nabla_{u_X}Y - \nabla_{v_Y}X \\ Thus \\ u = v \implies -\nabla[X, Y] = \nabla_X Y - \nabla_Y X \end{cases} \quad (25)$$

then

$$-\nabla[X, Y]f = \nabla_{[X, Y]}f \quad (26)$$

2.1.5 GRAD in integral of surface and volume

Assume ϕ a scalar function in a domain U . Classically,

$$\oint_{\partial U} \phi ds = \iiint_U \nabla \phi dV \quad (27)$$

We let

$$\oint_{\partial U} \phi ds \equiv - \oint_{\partial_{\nabla n} U} \phi ds \quad (28)$$

$$- \oint_{\partial_{\nabla n} U} \phi ds = - \iiint_U \phi \nabla n ds \quad (29)$$

$$= - \iiint_U \phi \nabla dV = \iiint_U \nabla \phi dV \quad (30)$$

2.1.6 GRAD in Green 2nd identity

Assume ϕ a twice continuously differentiable scalar fucion and ψ at least once continuously differentiable scalar function in a domain U and λ_i with $i = 1, 2$ twice continuously differentiable vector function.

Classically, for $\lambda_i = 1$ with $i=1, 2$

$$\oint_{\partial U} \lambda_i (\psi \nabla \phi - \phi \nabla \psi) \cdot ds = \iiint_U (\psi \nabla^2 \phi - \phi \nabla^2 \psi) dV \quad (31)$$

We let

$$\oint_{\partial U} \lambda_i (\psi \nabla \phi - \phi \nabla \psi) \cdot ds = G_{r2} \quad (32)$$

$$G_{r2} \equiv \oint_{\partial_{\nabla n} U} \nabla^{\epsilon_1 \epsilon_2} (\lambda_1 \psi \cdot \lambda_2 \phi) ds \quad (33)$$

Then

$$G_{r2} = \oint_{\partial_{\nabla n} U} [\epsilon_1 \lambda_1 \psi \cdot (\lambda_2 \phi \nabla) - \epsilon_2 \lambda_2 \phi \cdot (\nabla \lambda_1 \psi)] ds \quad (34)$$

$$G_{r2} = \iiint_U [\lambda_1 \psi \cdot (\lambda_2 \phi \nabla) + \lambda_2 \phi \cdot (\nabla \lambda_1 \psi)] \nabla n ds \quad (35)$$

$$G_{r2} = \iiint_U [-\lambda_1 \psi \nabla \cdot (\lambda_2 \nabla \phi) + \lambda_2 \phi \nabla \cdot (\lambda_1 \nabla \psi)] dV \quad (36)$$

In the case of $\lambda_i = 1$ all accross U , G_{r2} becomes

$$G_{r2} = \iiint_U [-\psi \nabla \cdot (\nabla \phi) + \phi \nabla \cdot (\nabla \psi)] dV \quad (37)$$

By strong permeation into the two terms of the last integral, we get

$$G_{r2} = \iiint_U (\psi \nabla^2 \phi - \phi \nabla^2 \psi) dV \quad (38)$$

2.2 The Divergence operator or div noted $\nabla \cdot$

$$\nabla_{uv}^{\epsilon_1 \epsilon_2} \cdot (A, B) = \nabla_u^{\epsilon_1} \cdot (A, B) - \nabla_v^{\epsilon_2} \cdot (A, B) \quad (39)$$

$$\nabla_{uv}^{\epsilon_1 \epsilon_2} \cdot (A, B) = \epsilon_1 A \cdot (B, \nabla_u) - \epsilon_2 B \cdot (\nabla_v, A) \quad (40)$$

If A et B are both vectors, replacing the coma by the cross \times , thus equation (39) becomes,

$$\nabla_{uv}^{\epsilon_1 \epsilon_2} \cdot (A \times B) = \nabla_u^{\epsilon_1} \cdot (A \times B) - \nabla_v^{\epsilon_2} \cdot (A \times B) \quad (41)$$

$$\nabla_{uv}^{\epsilon_1 \epsilon_2} \cdot (A \times B) = \epsilon_1 \nabla_u \cdot (A \times B) + \epsilon_2 \nabla_v \cdot (B \times A) \quad (42)$$

$$\nabla_{uv} \cdot (A \times B) = \nabla_u \cdot (A \times B) - \nabla_v \cdot (B \times A) \quad (43)$$

$$\nabla_{uv} \cdot (A \times B) = A \cdot (B \times \nabla_u) - B \cdot (A \times \nabla_v) \quad (44)$$

By comutation inside the brackets ,

$$\nabla_{uv} \cdot (A \times B) = -A \cdot (\nabla_u \times B) + B \cdot (\nabla_v \times A) \quad (45)$$

$$u = v \implies \nabla \cdot (A \times B) = -A \cdot (\nabla \times B) + B \cdot (\nabla \times A) \quad (46)$$

If $A = \alpha$ is a scalar, (it is precisely about $A \times$) thus

$$\nabla_{uv} \cdot (\alpha B) = \alpha (B \cdot \nabla_u) + B \cdot (\nabla_v \alpha) \quad (47)$$

$$\nabla_{uv} \cdot (\alpha B) = \alpha (\nabla_u \cdot B) + B \cdot (\nabla_v \alpha) \quad (48)$$

If in particular $A = \nabla$, thus

$$\nabla_{uv} \cdot (\nabla \times B) = -\nabla \cdot (\nabla_u \times B) + B \cdot (\nabla_v \times \nabla) \quad (49)$$

Applying the theorem of vector double product in the 2nd term of the right hand side of the equation (49),

$$\nabla_{uv} \cdot (\nabla \times B) = -\nabla \cdot (\nabla_u \times B) + \nabla_v \cdot (\nabla \times B) \quad (50)$$

Else more, if $u = v$, then

$$\nabla \cdot (\nabla \times B) = -\nabla \cdot (\nabla \times B) + \nabla \cdot (\nabla \times B) = 0 \quad (51)$$

2.2.1 DIV in integral of surface and volume

Let ψ a vector function in a domain U . Let ψ a vector function in a domain U .

Classically

$$\oint_{\partial U} \psi \cdot ds = \iiint_U \nabla \cdot \psi dV \quad (52)$$

We let

$$\oint_{\partial U} \psi \cdot ds \equiv \oint_{\partial_{\nabla n} U} \psi \cdot ds \quad (53)$$

Then

$$\oint_{\partial_{\nabla n} U} \psi \cdot ds = \iiint_U \psi \cdot \nabla n ds \quad (54)$$

$$= \iiint_U \psi \cdot \nabla dV = \iiint_U \nabla \cdot \psi dV \quad (55)$$

2.2.2 DIV in Green 1st identity

Let ψ and ϕ 2 scalar functions and λ a vector in a domain U respectively once and twice continuously differentiable.

Classically,

$$\oint_{\partial U} (\psi \nabla \phi) \cdot ds = \iiint_U [\nabla \psi (\nabla \phi) + \psi (\nabla^2) \phi] dV \quad (56)$$

We let

$$\oint_{\partial U} (\psi \nabla \phi) \cdot ds \equiv - \oint_{\partial_{\nabla n} U} \nabla^{\epsilon_1 \epsilon_2} \cdot (\psi \lambda \phi) ds = G_{r1} \quad (57)$$

$$G_{r1} = - \oint_{\partial_{\nabla n} U} [\epsilon_1 \psi (\lambda \phi \cdot \nabla) - \epsilon_2 \lambda \phi \cdot (\nabla \psi)] ds \quad (58)$$

$$G_{r1} = \iiint_U [-\psi (\lambda \phi \cdot \nabla) - \lambda \phi \cdot (\nabla \psi)] \nabla n ds \quad (59)$$

$$G_{r1} = \iiint_U [-\psi \nabla (\lambda \phi \cdot \nabla) - \lambda \phi \nabla \cdot (\nabla \psi)] dV \quad (60)$$

If $\lambda = 1$, then

$$G_{r1} = \iiint_U [-\psi \nabla (\nabla \cdot \phi) - (\nabla \psi) \cdot \phi \nabla] dV \quad (61)$$

Doing strong permeation into the 1st term of the last equation, one gets

$$G_{r1} = \iiint_U [\psi (\nabla^2) \phi + (\nabla \psi) \cdot \nabla \phi] dV \quad (62)$$

2.3 The Rotational Operator or curl noted $\nabla \times$

$$\nabla_{uv}^{\epsilon_1 \epsilon_2} \times (A \times B) = \nabla_u^{\epsilon_1} \times (A \times B) - \nabla_v^{\epsilon_2} \times (A \times B) \quad (63)$$

$$\nabla_{uv}^{\epsilon_1 \epsilon_2} \times (A \times B) = \nabla_u \times (A \times B) - \nabla_v \times (B \times A) \quad (64)$$

$$\begin{cases} \nabla_{uv}^{\epsilon_1 \epsilon_2} \times (A \times B) = A (B \cdot \nabla_u) - B (\nabla_u \cdot A) \\ -B (A \cdot \nabla_v) + A (\nabla_v \cdot B) \end{cases} \quad (65)$$

$$\begin{cases} u = v \implies \nabla \times (A \times B) = A(B \cdot \nabla) - B(\nabla \cdot A) \\ -B(A \cdot \nabla) + A(\nabla \cdot B) \end{cases} \quad (66)$$

2.3.1 CURL in integral of surface and volume

Let ψ a vector function in a domain U .

$$\begin{cases} \oint_{\partial_{\nabla \cdot n} U} \psi \times ds = \iiint_U \psi \times \nabla nds \\ = \iiint_U \psi \times \nabla dV = - \iiint_U \nabla \times \psi dV \end{cases} \quad (67)$$

2.3.2 CURL in the rotationnal theorem of (Georges Gabriel) Stokes

That is a similar case of integral but on lineic boundary of U such as

$$\begin{cases} \oint_{\partial U} \psi dl \equiv \oint_{\partial_{\nabla \times n} U} \psi dl = \iint_U \psi \nabla \times ndl \\ = - \iint_U \nabla \psi \times ds \\ \oint_{\partial U} \psi \cdot dl \equiv \oint_{\partial_{\nabla \times n} U} \psi \cdot dl = \iint_U \psi \times \nabla \cdot ndl \\ = - \iint_U \nabla \times \psi \cdot ds \end{cases} \quad (68)$$

3 ACKNOWLEDGEMENTS

We never stop thanking our friends Dr Doulaye Dembélé, C.N.R.S France and Pr Fad Seydou, mathematician in Mali, who were available all time while busy.

4 CONCLUSION

With Bra-Ket product formalism, we have gotten easily all classical matter concerned about the field Nabla. We, then, have shown another way of calculation.

5 BIBLIOGRAPHY

- [1] B. Dembélé. Le Produit Délimité. Proceedings of MSAS2018. Mali.
- [2] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Connexion de Levi-Civita](https://fr.wikipedia.org/wiki/Connexion_de_Levi-Civita).

DSS– réduction de bifiltrations d’anneaux et largeur analytique

Sagaïdou Mohamed Lamine¹, Boubacar Hama^{1,*}

¹Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, BPE 423, Bamako, Mali.

Résumé

Dans cette note nous introduisons un concept de *DSS*–réduction de bifiltrations similaire au cas de *DSS*– réduction de filtrations (Voir [1]) et nous donnons quelques propriétés.

Mots clés : anneau bigradé, bifiltrations, anneaux de Rees d’une bifiltration, bifiltration EP.

1. Introduction

Dans tout le papier A est considéré comme un anneau commutatif unitaire et *DSS*–réduction de bifiltrations d’anneaux signifie réduction de bifiltrations d’anneaux au sens de DICH-SANGARE-SOUMARE.

Rappelons d’abord les définitions et résultats classiques suivants :

Définition 1.1. On munit \mathbb{Z}^2 de l’ordre suivant :

$(m, n) < (p, q)$ si et seulement si $m \leq p$ et $n \leq q$ pour tous $m, n, p, q \in \mathbb{Z}$.

1) Un anneau A est dit bigradué s’il existe une famille $(A_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{Z}^2}$ de sous-groupes de A vérifiant les conditions (i) et (ii) suivantes :

$$(i) A = \bigoplus_{m,n \in \mathbb{Z}} A_{m,n};$$

$$(ii) A_{m,n} A_{p,q} \subseteq A_{m+p,n+q} \text{ pour tous } m, n, p, q \in \mathbb{Z}.$$

2) Une bifiltration sur l’anneau bigradué A est une famille $F = (I_{m,n})$ d’idéaux de A tels que :

$$(i) I_{0,0} = A;$$

$$(ii) I_{m+1,n} \subseteq I_{m,n} \text{ et } I_{m,n+1} \subseteq I_{m,n} \forall m, n \in \mathbb{Z};$$

$$(iii) I_{m,n} I_{p,q} \subseteq I_{m+p,n+q} \text{ pour tous } m, n, p, q \in \mathbb{Z}.$$

3) On rappelle qu’une filtration sur l’anneau gradué A est une famille $f = (I_n)$ d’idéaux de A tels que :

$$(i) I_0 = A;$$

$$(ii) I_{n+1} \subseteq I_n \text{ } n \in \mathbb{Z}$$

$$(iii) I_n I_p \subseteq I_{n+p} \text{ pour tous } n, p \in \mathbb{Z}.$$

*. Auteur correspondant

Adresses email : msagaidoul@yahoo.fr (Sagaïdou Mohamed Lamine),
boubacar_hama08@yahoo.fr (Boubacar Hama)

En particulier si $n \leq 0$, alors $I_n = A$. Si I est un idéal de A , alors la filtration $f_I = (I^n)_{n \in \mathbb{Z}}$ où $I^n = A \forall n \leq 0$, est appelée la filtration I -adique.

La filtration $(M_n)_n$ de M est dite I -bonne si :

$$IM_n \subset M_{n+1} \forall n \text{ et il existe } n_0 \in \mathbb{N}, IM_n = M_{n+1} \forall n \geq n_0.$$

Définitions 1.2. Soit $F = (I_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ une bifiltration de l'anneau A . Considérons les groupes $Gr_A(A, F) = \bigoplus_{(m,n) \in \mathbb{N}^2} \frac{I_{m,n}}{I_{m+1,n+1}}$. De façon similaire pour la bifiltration $\Phi =$

$(M_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ du A -module M , on considère le groupe $Gr_A(M, \Phi) = \bigoplus_{(m,n) \in \mathbb{N}^2} \frac{M_{m,n}}{M_{m+1,n+1}}$

Supposons que Φ et F sont compatibles. Alors pour tous entiers naturels m, n, s, t définissons une application de la forme $\frac{I_{s,t}}{I_{s+1,t+1}} \times \frac{M_{m,n}}{M_{m+1,n+1}}$ sur $\frac{M_{m+s,n+t}}{M_{m+s+1,n+t+1}}$ comme suit :

$$\forall a \in I_{s,t}, \forall x \in M_{m,n}$$

$$(*) (a + I_{s+1,t+1})(x + M_{m+1,n+1}) = ax + M_{m+s+1,n+t+1}.$$

De même on a nous définissons une application de la forme $\frac{I_{s,t}}{I_{s,t+1}} \times \frac{M_{m,n}}{M_{m,n+1}}$ sur $\frac{M_{m,n+t}}{M_{m,n+t+1}}$ comme suit : $\forall a \in I_{s,t}, \forall x \in M_{m,n}$. On vérifie facilement que cette multiplication est bien définie. On étend cela par linéarité à une application de la forme $Gr_A(A, F) \times Gr_A(M, \Phi)$ sur $Gr_A(M, \Phi)$ laquelle définit une structure de $Gr_A(A, F)$ -module sur $Gr_A(M, \Phi)$.

Nous introduisons dans un anneau commutatif unitaire la notion de DSS -réduction de bifiltrations qui généralise celle de réduction de filtration introduite par Mahamadou Soumaré [6].

Soient $F = (I_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ et $G = (J_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ deux bifiltrations de A .

F est une DSS -réduction de G si :

(i) $F \leq G$.

(ii) Il existe $r, s \in \mathbb{N}^*$ et $(m_0, n_0) \in \mathbb{N}^2$ tels que :

$$J_{m+r,n+s} = I_{m,n} J_{r,s} \forall m \geq m_0 \text{ ou } \forall n \geq n_0.$$

D'après Mahamadou Soumaré [6], une filtration $f = (I_n)_{n \in \mathbb{N}}$ est une réduction d'une filtration $g = (J_n)_{n \in \mathbb{N}}$ si :

(i) $f \leq g$.

(ii) Il existe un entier $r \geq 1$ et un entier $n_0 \geq 0$ tels que $J_{r+n} = J_r I_n$ pour tout $n \geq n_0$.

Nous avons mis l'accent sur la notion de bifiltration d'idéaux $(I_{1,0}, I_{0,1})$ -bonnes et DSS -réduction de bifiltrations et nous avons étudié certaines propriétés liées à ces concepts. Nous avons également introduit le concept de DSS -réduction pour les bifiltrations par analogie au cas des filtrations et nous avons établi des liens entre bifiltrations fortement entières et DSS -réduction d'une part et DSS -réduction et bifiltrations F -fines d'autre part.

Nous donnons une définition similaire pour une bifiltration $F = (I_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ de l'anneau A .

2. Bifiltrations $(I_{1,0}, I_{0,1})$ -bonnes et DSS -réduction de bifiltrations

Définition 2.1. a) Soient $I_{1,0}$ et $I_{0,1}$ deux idéaux de A . Une bifiltration $F = (I_{m,n})_{m,n \in \mathbb{N}}$ est dite $(I_{1,0}, I_{0,1})$ -bonne si :

1.

$$\forall m, n \in \mathbb{N}, \begin{cases} I_{1,0}I_{m,n} \subseteq I_{m+1,n} \\ I_{0,1}I_{m,n} \subseteq I_{m,n+1} \end{cases} \quad (1)$$

2. Il existe $(m_0, n_0) \in \mathbb{N}^2$ tels que :

$$\forall m \geq m_0, \forall n \geq n_0, \begin{cases} I_{1,0}I_{m,n} = I_{m+1,n} \\ I_{0,1}I_{m,n} = I_{m,n+1} \end{cases} \quad (2)$$

b) Soient $F = (I_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ et $G = (J_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ deux bifiltrations de A avec $F \leq G$ c'est-à-dire $I_{m,n} \subseteq J_{m,n}$ pour tout $(m, n) \in \mathbb{N}^2$.

(i) G est dite F -bonne si $F \leq G$ et s'il existe deux entiers $N_1, N_2 \geq 1$ tels que :
 $\forall m \geq N_1$ ou $\forall n \geq N_2$, $J_{m,n} = \sum_{\substack{0 \leq p \leq N_1 \\ 0 \leq q \leq N_2 \\ (p,q) \neq (0,0)}} I_{m-p,n-q} J_{p,q}$.

(ii) G est dite faiblement F -bonne s'il existe $d, d' \in \mathbb{N}^*$ tels que :

$$J_{m,n} = \sum_{\substack{0 \leq i \leq d \\ 0 \leq j \leq d'}} I_{m-i,n-j} J_{i,j} \quad \forall m \geq d \text{ ou } \forall n \geq d'.$$

(iii) G est dite fortement F -bonne si :

• $I_{m,n} J_{p,q} \subseteq J_{m+p,n+q}$ pour tous $m, n, p, q \in \mathbb{Z}$.

• Il existe $r, s \in \mathbb{N}^*$ et $(m_0, n_0) \in \mathbb{N}^2$ tels que :

$$I_{m,n} J_{p,q} = J_{m+p,n+q} \quad \forall m \geq m_0 \text{ ou } \forall n \geq n_0, \forall p \geq r \text{ ou } \forall q \geq s.$$

(iv) F est une DSS-réduction de G si :

• $F \leq G$.

• Il existe $r, s \in \mathbb{N}^*$ et $(m_0, n_0) \in \mathbb{N}^2$ tels que :

$$J_{m+r,n+s} = I_{m,n} J_{r,s} \quad \forall m \geq m_0 \text{ ou } \forall n \geq n_0.$$

Exemple 2.2. Soient $G = (J_{m,n})$ une bifiltration sur un anneau A où $J_{m,n} = (0)$ pour tous $r, s \geq 1$. Posons $F = (I_{m,n})$ avec $I_{0,0} = A$ et $I_{m,n} = J_{r+m-1,s+n-1}$ pour tous $m \geq 1$ ou $n \geq 1$. On a $F \leq G$ et que $J_{r+m,n+s} = J_{r,s} I_{m,n} \quad \forall m \geq 2 \text{ ou } \forall n \geq 2$. Donc F est une DSS-réduction de G .

Exemple 2.3. Soient I et J des idéaux d'un anneau noëthérien A tels que I soit une réduction au sens de Northcott-Rees. Alors $I \subseteq J$ et il existe $t, s \in \mathbb{N}^*$ tels que $J^t I = J^{t+1}$. On en déduit que : $J^{nt} I^m = J^{nt+m} \quad \forall n \geq 1 \text{ et } m \geq 0$ (*).

$$\text{Posons } G = (J_{m,n}) \text{ avec } J_{m,n} = \begin{cases} J^{\frac{m+n}{2}} & m \text{ et } n \text{ sont de même parité} \\ J^{\frac{m+n+1}{2}} & m \text{ et } n \text{ sont de parités différentes} \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{et } F = (I_{m,n}) \text{ avec } I_{m,n} = \begin{cases} I^{\frac{m+n}{2}} & m \text{ et } n \text{ sont de même parité} \\ I^{\frac{m+n+1}{2}} & m \text{ et } n \text{ sont de parités différentes} \end{cases} \quad (4)$$

Alors F est une DSS-réduction de G . En effet, notons $r = 2t$ et $s = 2t'$ et montrons que $J_{r+m,s+n} = J_{r,s}I_{m,n}$, $\forall m \geq 0$ ou $\forall n \geq 0$.

• Si m et n ont la même parité alors $r + m$ et $s + n$ sont aussi de même parité et on a :

$$J_{r+m,s+n} = J^{\frac{m+2t+n+2t'}{2}} = J^{t+t'+\frac{m+n}{2}} \text{ et}$$

$$\begin{aligned} J_{r,s}I_{m,n} &= I^{\frac{m+n}{2}} J^{\frac{2t+2t'}{2}} = I^{\frac{m+n}{2}} J^{t+t'} = (I^{\frac{m}{2}} J^t)(I^{\frac{n}{2}} J^{t'}) \\ &= J^{\frac{m}{2}+t} J^{\frac{n+1}{2}+t'} \text{ d'après } (*) \\ &= J^{\frac{m+n+1}{2}+t+t'} \end{aligned}$$

• Si m est pair et n est impair alors $r + m$ est pair et $s + n$ est impair et on a :

$$J_{r+m,s+n} = J^{\frac{m+2t+n+2t'+1}{2}} = J^{t+t'+\frac{m+n+1}{2}} \text{ et}$$

$$\begin{aligned} J_{r,s}I_{m,n} &= I^{\frac{m+n+1}{2}} J^{\frac{2t+2t'}{2}} = I^{\frac{m+n+1}{2}} J^{t+t'} = (I^{\frac{m}{2}} J^t)(I^{\frac{n+1}{2}} J^{t'}) \\ &= J^{\frac{m}{2}+t} J^{\frac{n+1}{2}+t'} \text{ d'après } (*) \\ &= J^{\frac{m+n+1}{2}+t+t'} \end{aligned}$$

• Si m est impair et n est pair alors $r + m$ est impair et $s + n$ est pair et on a : $J_{r+m,s+n} = J^{\frac{m+2t+1+n+2t'}{2}} = J^{t+t'+\frac{m+n+1}{2}} \text{ et}$

$$\begin{aligned} J_{r,s}I_{m,n} &= I^{\frac{m+n+1}{2}} J^{\frac{2t+2t'}{2}} = I^{\frac{m+n+1}{2}} J^{t+t'} = (I^{\frac{m+1}{2}} J^t)(I^{\frac{n}{2}} J^{t'}) \\ &= J^{\frac{m+1}{2}+t} J^{\frac{n}{2}+t'} \text{ d'après } (*) \\ &= J^{\frac{m+n+1}{2}+t+t'} \end{aligned}$$

Dans tous les cas on a : $J_{r+m,s+n} = J_{r,s}I_{m,n}$ $\forall m \geq 0$ ou $\forall n \geq 0$.

De plus $F \leq G$ par construction, donc F est une DSS-réduction de G .

Définitions 2.4. Soit $F = (I_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ une bifiltration de A . La bifiltration F est fortement EP s'il existe deux entiers $k_1, k_2 \in \mathbb{N}^*$ tels que : $I_{m+k_1,n+k_2} = I_{m,n}I_{k_1,k_2}$ $\forall m \geq k_1$ ou $\forall n \geq k_2$.

Proposition 2.5. Soient $F = (I_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ et $G = (J_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ deux bifiltrations de A telles que $F \leq G$.

Si la bifiltration G est fortement F -bonne alors F est une DSS-réduction de G .

Preuve. Supposons que G est fortement F -bonne. Alors il existe $r, s \in \mathbb{N}^*$ et $m_0, n_0 \in \mathbb{N}$ tels que : $J_{m+p,n+q} = I_{m,n}J_{p,q}$ $\forall m \geq m_0$ ou $\forall n \geq n_0$, $\forall p \geq r$ ou $\forall q \geq s$. En posant $p = r$ et $q = s$, on a : $J_{m+r,n+s} = I_{m,n}J_{r,s}$ $\forall m \geq m_0$ ou $\forall n \geq n_0$. Donc F est une DSS-réduction de G .

Proposition 2.6. Soient $F = (I_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ et $G = (J_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ deux bifiltrations de A ; telle que $F \leq G$.

On suppose que la bifiltration G est fortement F -bonne. Alors on a :

- (i) G est fortement EP.
- (ii) G est F -bonne.

Preuve. Supposons que G est fortement F -bonne. Alors $F \leq G$ et il existe $r, s \in \mathbb{N}^*$ et $m_0, n_0 \in \mathbb{N}$ tels que :

$$J_{m+p,n+q} = I_{m,n} J_{p,q} \quad \forall m \geq m_0 \text{ ou } \forall n \geq n_0, \quad \forall p \geq r \text{ ou } \forall q \geq s.$$

(i) Comme $F \leq G$ on a $I_{m;n} \subseteq J_{m,n} \quad \forall m, n \in \mathbb{N}$ et

$$J_{m+p,n+q} = I_{m,n} J_{p,q} \subseteq J_{m,n} J_{p,q} \subseteq J_{m+p,n+q} \text{ et } J_{m+p,n+q} = J_{m,n} J_{p,q}$$

$\forall m \geq m_0$ ou $\forall n \geq n_0, \quad \forall p \geq r$ ou $\forall q \geq s$. En posant $p = r$ et $q = s$, on a :

$$J_{m+r,n+s} = J_{m,n} J_{r,s} \quad \forall m \geq m_0 \text{ ou } \forall n \geq n_0. \text{ Donc } G \text{ est fortement EP.}$$

(ii) En posant $p = r$ et $q = s$, on a : $\forall m \geq 2r$ ou $\forall n \geq 2s, J_{m,n} = I_{m-r,n-s} J_{r,s}$.

$$\text{Alors } J_{m,n} \subseteq \sum_{\substack{0 \leq i \leq 2r \\ 0 \leq j \leq 2s \\ (i,j) \neq (0,0)}} I_{m-i,n-j} J_{i,j} \subseteq \sum_{\substack{0 \leq i \leq 2r \\ 0 \leq j \leq 2s \\ (i,j) \neq (0,0)}} J_{m-i,n-j} J_{i,j} \subseteq J_{m,n} \quad \forall m \geq 2r \text{ ou}$$

$$\forall n \geq 2s \text{ (*)}. \text{ Ainsi } J_{m,n} = \sum_{\substack{0 \leq i \leq 2r \\ 0 \leq j \leq 2s \\ (i,j) \neq (0,0)}} I_{m-i,n-j} J_{i,j} \quad \forall m \geq 2r \text{ ou } \forall n \geq 2s.$$

Par suite pour tout m tel que $1 \leq m \leq 2r$ ou pour tout n tel que $\forall 1 \leq n \leq 2s$ en posant

$$2r = d \text{ et } 2s = d' \text{ on a : } J_{m,n} = I_{m-m,n-n} J_{m,n}.$$

$$\text{Alors } J_{m,n} \subseteq \sum_{\substack{0 \leq i \leq d \\ 0 \leq j \leq d' \\ (i,j) \neq (0,0)}} I_{m-i,n-j} J_{i,j} \subseteq \sum_{\substack{0 \leq i \leq d \\ 0 \leq j \leq d' \\ (i,j) \neq (0,0)}} J_{m-i,n-j} J_{i,j} \subseteq J_{m,n} \quad \forall m \geq d \text{ ou}$$

$$\forall n \geq d'. \text{ D'où } J_{m,n} = \sum_{\substack{0 \leq i \leq d \\ 0 \leq j \leq d' \\ (i,j) \neq (0,0)}} I_{m-i,n-j} J_{i,j} \quad \forall m \geq d \text{ ou } \forall n \geq d'. (**)$$

De (*) et (**) on déduit que G est F -bonne.

Proposition 2.7. On suppose la bifiltration $F = (I_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ de A est fortement EP.

Si la bifiltration $G = (J_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ de A est faiblement F -bonne alors G est fortement F -bonne.

Preuve. Supposons la bifiltration F est fortement EP et la bifiltration G est faiblement F -bonne. Il existe deux entiers $r, s \in \mathbb{N}^*$ tels que : $I_{m+r,n+s} = I_{m,n} I_{r,s} \quad \forall m \geq r$ ou $\forall n \geq s$ et il existe $d, d' \in \mathbb{N}^*$ tels que :

$$J_{m,n} = \sum_{\substack{0 \leq i \leq d \\ 0 \leq j \leq d'}} I_{m-i,n-j} J_{i,j} \quad \forall m \geq d \text{ ou } \forall n \geq d'.$$

Ainsi $\forall m \geq \max(r, d) = k$ ou $\forall n \geq \max(s, d') = l$, on a :

$$\begin{aligned} J_{m+r,n+s} &= \sum_{\substack{0 \leq i \leq d \\ 0 \leq j \leq d'}} I_{m+r-i,n+s-j} J_{i,j} \\ &= \sum_{\substack{0 \leq i \leq d \\ 0 \leq j \leq d'}} I_{m,n} I_{r-i,s-j} J_{i,j} \\ &= I_{m,n} \sum_{\substack{0 \leq i \leq d \\ 0 \leq j \leq d'}} I_{r-i,s-j} J_{i,j} \\ &= I_{m,n} J_{r,s} \quad \forall m \geq k \text{ ou } \forall n \geq l. \end{aligned}$$

Donc G est fortement F -bonne.

Proposition 2.8. Soient $F = (I_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ et $G = (J_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ deux bifiltrations de A telles que $F \leq G$.

Si G est $(I_{1,0}, I_{0,1})$ -bonne alors G fortement F -bonne.

Preuve. Supposons que G est $(I_{1,0}, I_{0,1})$ -bonne alors il existe $m_0, n_0 \in \mathbb{N}$ tels que

$$\forall m \geq m_0, \forall n \geq n_0, \begin{cases} I_{1,0} J_{m,n} = J_{m+1,n} \\ I_{0,1} J_{m,n} = J_{m,n+1}. \end{cases} \quad (5)$$

En utilisant la conséquence 3.1.4 de [4], on déduit de la relation (5) que : $I_{1,0}^p I_{0,1}^q J_{m,n} = J_{m+p,n+q} \forall m \geq m_0$ ou $\forall n \geq n_0$ pour tous $p, q \in \mathbb{N}^*$ et en particulier pour tous $p, q \geq 1$.

Donc pour tous $p, q \geq 1$ et $\forall m \geq m_0$ ou $\forall n \geq n_0$ on a :

$$J_{m+p,n+q} = I_{1,0}^p I_{0,1}^q J_{m,n} \subseteq I_{p,0} I_{0,q} J_{m,n} \subseteq I_{p,q} J_{m,n} \subseteq J_{p,q} J_{m,n} \subseteq J_{m+p,n+q}.$$

Ainsi $J_{m+p,n+q} = I_{p,q} J_{m,n} \forall m \geq m_0$ ou $\forall n \geq n_0$ pour tous $p, q \in \mathbb{N}^*$.

Donc G est fortement F -bonne.

3. Propriétés caractéristiques

Proposition 3.1. Soient $F_{I_{1,0}, I_{0,1}} = (I_{1,0}^m, I_{0,1}^n)$ (où $I_{1,0}$ et $I_{0,1}$ sont deux idéaux de A) et $G = (J_{m,n})_{m,n \in \mathbb{N}}$ deux bifiltrations de A telles que $F_{I_{1,0}, I_{0,1}} \leq G$. Alors les assertions suivantes sont équivalentes :

(i) $F_{I_{1,0}, I_{0,1}}$ est une DSS-réduction de G .

(ii) G est $(I_{1,0}, I_{0,1})$ -bonne.

Preuve. (i) \implies (ii). Supposons que $F_{I_{1,0}, I_{0,1}}$ est une DSS-réduction de G . Alors $F_{I_{1,0}, I_{0,1}} \leq G$ et il existe $r, s \in \mathbb{N}^*$ et $m_0, n_0 \in \mathbb{N}$ tels que $J_{m+r, n+s} = I_{m,n} J_{r,s} \forall m \geq m_0$ ou $\forall n \geq n_0$.

Puisque $F_{I_{1,0}, I_{0,1}} \leq G$, on a : $I_{1,0}^m, I_{0,1}^n \subseteq I_{m,0} I_{0,n} \subseteq I_{m,n} \subseteq J_{m,n} \forall m, n$. Donc

$$\forall m \geq m_0, \forall n \geq n_0, \begin{cases} I_{1,0} J_{m,n} \subseteq J_{m+1,n} \\ I_{0,1} J_{m,n} \subseteq I_{m,n+1}. \end{cases} \quad (6)$$

De plus, $\forall m \geq m_0 + r, \forall n \geq n_0 + s$ il existe $k, l \in \mathbb{N}$ tels que $m = m_0 + r + k$ et $n = n_0 + s + l$. Ainsi

$$J_{m+1,n} = J_{m_0+r+k+1, n} = I_{1,0}^{m_0+k+1} J_{r,n} = I_{1,0} I_{1,0}^{m_0+k} J_{r,n} = I_{1,0} J_{m_0+r+k, n} = I_{1,0} J_{m,n}$$

et

$$J_{m,n+1} = J_{m, n_0+s+l+1} = I_{0,1}^{n_0+l+1} J_{m,s} = I_{0,1} I_{0,1}^{n_0+l} J_{m,s} = I_{0,1} J_{m, n_0+s+l} = I_{0,1} J_{m,n}.$$

Par conséquent il existe $r, s \in \mathbb{N}^*$ et $m_0, n_0 \in \mathbb{N}$ tels que

$$\forall m \geq m_0 + r, \forall n \geq n_0 + s, \begin{cases} I_{1,0} J_{m,n} = J_{m+1,n} \\ I_{0,1} J_{m,n} = J_{m,n+1}. \end{cases} \quad (7)$$

Donc G est $(I_{1,0}, I_{0,1})$ -bonne d'après (6) et (7).

(ii) \implies (i). En posant $F = F_{I_{1,0}, I_{0,1}}$, si G est $(I_{1,0}, I_{0,1})$ -bonne alors G est fortement

$F_{I_{1,0},I_{0,1}}$ –bonne d'après la Proposition 2.8. Or G fortement $F_{I_{1,0},I_{0,1}}$ –bonne $\implies F_{I_{1,0},I_{0,1}}$ est une DSS–réduction de G d'après la Proposition 2.5. D'où le résultat.

Proposition 3.2. Soient $F = (I_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ et $G = (J_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ deux bifiltrations de A telle que $F \leq G$. Si F est une DSS–réduction de G alors G est F –bonne.

Preuve. Si F est une DSS–réduction de G alors $F \leq G$ et il existe $r, s \in \mathbb{N}^*$ et $m_0, n_0 \in \mathbb{N}$ tels que $J_{m+r, n+s} = I_{m,n} J_{r,s} \forall m \geq m_0$ ou $\forall n \geq n_0$. En particulier, $\forall m \geq m_0 + r = d$ ou $\forall n \geq n_0 + s = d'$ on a : $J_{m,n} = I_{m-r, n-s} J_{r,s}$.

$$\text{Alors } J_{m,n} \subseteq \sum_{\substack{0 \leq p \leq d \\ 0 \leq q \leq d' \\ (p,q) \neq (0,0)}} I_{m-p, n-q} J_{p,q} \subseteq J_{m,n}.$$

$$\text{Donc } J_{m,n} = \sum_{\substack{0 \leq p \leq d \\ 0 \leq q \leq d' \\ (p,q) \neq (0,0)}} I_{m-p, n-q} J_{p,q} \quad \forall m \geq d \text{ ou } \forall n \geq d'. \text{ D'où le résultat.}$$

Théorème 3.3. Soient $F = (I_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ et $G = (J_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ deux bifiltrations de A telles que $F \leq G$. Si F est une DSS–réduction de G alors il existe $d, d' \in \mathbb{N}^*$ tels que $R(A, G)$ soit le $R(A, F)$ –module engendré par $J_{p,q} X^p Y^q$ où $0 \leq p \leq d$ et $0 \leq q \leq d'$.

Preuve. Si F est une DSS–réduction de G , alors d'une part $F \leq G$, donc $(I_{m,n} X^m Y^n)(J_{p,q} X^p Y^q) \subseteq J_{m+p, n+q} X^{m+p} Y^{n+q} \forall m, n, p, q \in \mathbb{N}$; par conséquent $R(A, G)$ est un $R(A, F)$ –module et d'autre part il existe $r, s \in \mathbb{N}^*$ et $m_0, n_0 \in \mathbb{N}$ tels que $J_{m+r, n+s} = I_{m,n} J_{r,s} \forall m \geq m_0$ ou $\forall n \geq n_0$. En particulier, $\forall m \geq m_0 + r = d$ ou $\forall n \geq n_0 + s = d'$, posons $m = m_0 + r + k$ et $n = n_0 + s + l$, $(k, l) \in \mathbb{N}^2$.

Alors on a : $J_{m,n} = J_{d+k, d'+l} = J_{m_0+k+r, n_0+l+s} = I_{m_0+k, n_0+l} J_{r,s}$. Par suite on a $J_{m,n} X^m Y^n = I_{m_0+k, n_0+l} J_{r,s} X^{m_0+r+k} Y^{n_0+l+s} = I_{m_0+k, n_0+l} X^{m_0+k} Y^{n_0+l} J_{r,s} X^r Y^s$ avec $I_{m_0+k, n_0+l} X^{m_0+k} Y^{n_0+l} \subseteq R(A, F)$ et $J_{r,s} X^r Y^s \subseteq R(A, G)$. Donc $R(A, G)$ est le $R(A, F)$ –module engendré par $J_{p,q} X^p Y^q$, $0 \leq p \leq d$ et $0 \leq q \leq d'$ avec $d = m_0 + r$ et $d' = n_0 + s$.

Corollaire 3.4. Supposons que l'anneau A est nœthérien. Si F est une DSS–réduction de G alors $R(A, G)$ est un $R(A, F)$ –module de type fini.

Preuve. Si F est une DSS–réduction de G alors, il existe $d, d' \in \mathbb{N}^*$ tels que $R(A, G)$ soit le $R(A, F)$ –module engendré par $J_{p,q} X^p Y^q$, $0 \leq p \leq d$ et $0 \leq q \leq d'$ d'après le Théorème 3.3. Comme A est nœthérien, alors les idéaux $J_{p,q}$ sont de type fini pour tous entiers $p, q \in \mathbb{N}$. Donc $R(A, G)$ est un $R(A, F)$ –module de type fini.

Si $m \leq d$ et $n \leq d'$ alors $R(A, G) = \bigoplus_{\substack{0 \leq m \leq d \\ 0 \leq n \leq d'}} J_{m,n} X^m Y^n$. Soit $z \in R(A, G)$ et supposons

que z est homogène de degré (m, n) . Alors $z = x X^m Y^n$ où $x \in J_{m,n}$.

A est nœthérien, donc $J_{m,n}$ est de type fini pour tous m, n . Soit $(z_{m,n,i})_{i=1,2,\dots,r_{m,n}}$ un système générateur de $J_{m,n}$.

$$x \in J_{m,n}, \quad x = \sum_{i=1}^{r_{m,n}} a_{m,n,i} z_{m,n,i} \text{ où } a_{m,n,i} \in A \subseteq R(A, F).$$

Alors $z = \sum_{i=1}^{r_{m,n}} a_{m,n,i} (z_{m,n,i} X^m Y^n)$. Donc $R(A, G) \subseteq \sum_{i=1}^{r_{m,n}} R(A, F) z_{m,n,i} X^m Y^n$. Comme

$R(A, G)$ est un $R(A, F)$ –module alors $R(A, G) = \sum_{i=1}^{r_{m,n}} R(A, F) z_{m,n,i} X^m Y^n$. Ainsi tout

élément homogène xX^mY^n de $R(A, G)$ est une combinaison linéaire à coefficients dans $R(A, F)$ des $z_{m,n,i}X^mY^n$ en nombre fini, $1 \leq i \leq r_{m,n}$ avec $0 \leq m \leq d$ et $0 \leq n \leq d'$. Par conséquent $R(A, G)$ est $R(A, F)$ -module de type fini.

4. Bifiltrations EP, DSS-réduction et bifiltrations F-fines.

Définitions 4.1. La bifiltration $F = (I_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ de l'anneau A est dite EP (essentiellement puissance d'idéaux) s'il existe deux entiers $N_1 \geq 1$ et $N_2 \geq 1$ tels que : $\forall (m, n) \in \mathbb{N}^2$, si $m \geq N_1$ ou $n \geq N_2$, alors $I_{m,n} = \sum_{\substack{0 \leq p \leq N_1 \\ 0 \leq q \leq N_2 \\ (p,q) \neq (0,0)}} I_{m-p, n-q} I_{p,q}$.

Définitions 4.2. Soient $F = (I_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ et $G = (J_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ deux bifiltrations de A . G est dite F -fine s'il existe $d_1, d_2 \in \mathbb{N}^*$ tels que $\forall m \geq d_1$ ou $\forall n \geq d_2$ tels que : $J_{m,n} = \sum_{\substack{0 \leq p \leq d_1 \\ 0 \leq q \leq d_2 \\ (p,q) \neq (0,0)}} I_{p,q} J_{m-p, n-q}$.

Proposition 4.3. Soient A un anneau, $F = (I_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ est une bifiltration EP de A telle $F \leq G$ et $G = (J_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ une bifiltration de A . Si F est DSS-réduction de G alors G est F -fine.

Preuve. F est dite EP s'il existe $N_1, N_2 \in \mathbb{N}^*$ tels que $\forall m \geq N_1$ ou $\forall n \geq N_2$, $I_{m,n} = \sum_{\substack{0 \leq i \leq N_1 \\ 0 \leq j \leq N_2 \\ (i,j) \neq (0,0)}} I_{m-i, n-j} I_{i,j}$. F est DSS-réduction de G s'il existe $r, s \in \mathbb{N}^*$ et $m_0, n_0 \in \mathbb{N}$ tels que $\forall p \geq m_0$ ou $\forall q \geq n_0$, $J_{p+r, q+s} = I_{p,q} J_{r,s}$.

$$\begin{aligned} \text{Alors } \forall p \geq m_0 + r \text{ et } \forall q \geq n_0 + s, J_{p+r, q+s} &= J_{r,s} \sum_{\substack{0 \leq i \leq N_1 \\ 0 \leq j \leq N_2 \\ (i,j) \neq (0,0)}} I_{p-i, q-j} I_{i,j} = \sum_{\substack{0 \leq i \leq N_1 \\ 0 \leq j \leq N_2 \\ (i,j) \neq (0,0)}} (J_{r,s} I_{p-i, q-j}) I_{i,j} \\ &= \sum_{\substack{0 \leq i \leq N_1 \\ 0 \leq j \leq N_2 \\ (i,j) \neq (0,0)}} J_{p+r-i, q+s-j} I_{i,j}. \end{aligned}$$

Posons $p + r = m$ et $q + s = n$. Alors $\forall m \geq m_0 + r + N_1$ ou $\forall n \geq n_0 + s + N_2$, $J_{m,n} = \sum_{\substack{0 \leq i \leq N_1 \\ 0 \leq j \leq N_2 \\ (i,j) \neq (0,0)}} J_{m-i, n-j} I_{i,j}$.

Or

$$\begin{aligned} \sum_{\substack{0 \leq i \leq m_0 + r + N_1 \\ 0 \leq j \leq n_0 + s + N_2 \\ (i,j) \neq (0,0)}} J_{m-i, n-j} I_{i,j} &= \sum_{\substack{0 \leq i \leq N_1 \\ 0 \leq j \leq N_2 \\ (i,j) \neq (0,0)}} J_{m-i, n-j} I_{i,j} + \sum_{\substack{N_1 + 1 \leq i \leq m_0 + r + N_1 \\ N_2 + 1 \leq j \leq n_0 + s + N_2}} J_{m-i, n-j} I_{i,j} \\ &= J_{m,n} + \sum_{\substack{N_1 + 1 \leq i \leq m_0 + r + N_1 \\ N_2 + 1 \leq j \leq n_0 + s + N_2}} J_{m-i, n-j} I_{i,j} \\ &= J_{m,n} \end{aligned}$$

$$\text{car } \sum_{\substack{N_1+1 \leq i \leq m_0+r+N_1 \\ N_2+1 \leq j \leq n_0+s+N_2}} J_{m-i, n-j} I_{i,j} \subseteq \sum_{\substack{N_1+1 \leq i \leq m_0+r+N_1 \\ N_2+1 \leq j \leq n_0+s+N_2}} J_{m, n} = J_{m, n}.$$

En posant $m_0 + r + N_1 = d_1$ et $n_0 + s + N_2 = d_2$. Alors on a $\forall m \geq d_1$ ou $\forall n \geq d_2$, $J_{m,n} = \sum_{\substack{0 \leq i \leq d_1 \\ 0 \leq j \leq d_2 \\ (i,j) \neq (0,0)}} J_{m-i, n-j} I_{i,j}$. Donc G est F -fine.

5. Bifiltrations fortement entières et DSS-réduction.

Définitions 5.1. Soient $F = (I_{m;n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ et $G = (J_{m;n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ deux bifiltrations de A sur F . G est fortement entière sur F si $F \leq G$ et $R(A, G)$ est un $R(A, F)$ -algèbre de type fini.

Proposition 5.2. Soient $F = (I_{m;n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ et $G = (J_{m;n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ deux bifiltrations d'un anneau noëthérien A telles que $F \leq G$. Si F est une DSS-réduction de G alors G est fortement entière sur F .

Preuve. D'après le Théorème 3.3 et le Corollaire 3.4, si F est une DSS-réduction de G alors, il existe $d, d' \in \mathbb{N}^*$ tels que $R(A, G)$ soit le $R(A, F)$ -module engendré par $J_{p,q} X^p Y^q$, $0 \leq p \leq d$ et $0 \leq q \leq d'$. Comme A est noëthérien alors les idéaux $J_{p,q}$ sont de type fini $\forall p, q \in \mathbb{N}$. Donc $R(A, G)$ est une $R(A, F)$ -algèbre de type fini et par suite G est fortement entière sur F .

Proposition 5.3. Soient $F = (I_{m,n})_{m,n \in \mathbb{N}}$ et $G = (J_{m,n})_{m,n \in \mathbb{N}}$ deux bifiltrations d'un anneau noëthérien A telles que $F \leq G$. Si G est F -bonne alors G est fortement entière sur F .

Preuve. Si G est F -bonne alors $I_{m,n} X^m Y^n J_{p,q} X^p Y^q \subseteq J_{m+p, n+q} X^{m+p} Y^{n+q}$ $\forall m, n, p, q \in \mathbb{N}$ car $I_{m,n} \subseteq J_{m,n}$ pour tous $m, n \in \mathbb{N}$. Donc $R(A, G)$ est un $R(A, F)$ -module. Il existe $N_1, N_2 \in \mathbb{N}^*$, tels que $J_{m,n} = \sum_{\substack{0 \leq i \leq N_1 \\ 0 \leq j \leq N_2 \\ (i,j) \neq (0,0)}} I_{m-i, n-j} J_{i,j}$ pour tout $m \geq N_1$ ou

$n \geq N_2$.

Alors $J_{m,n} X^m Y^n = \left(\sum_{\substack{0 \leq i \leq d \\ 0 \leq j \leq d' \\ (i,j) \neq (0,0)}} I_{m-i, n-j} X^{m-i} Y^{n-j} \right) J_{i,j} X^i Y^j$ pour tout $m \geq N_1$ ou

$n \geq N_2$.

Ainsi $R(A, G) = \bigoplus_{m,n \geq 0} J_{m,n} X^m Y^n$ est engendré en tant que $R(A, F)$ -module en nombre fini $J_{i,j} X^i Y^j$ en nombre fini, $1 \leq i \leq d$ et $1 \leq j \leq d'$ car A est noëthérien. D'où $R(A, G)$ est une $R(A, F)$ -algèbre finie et par suite G est fortement entière sur F .

Remarque 5.4. Soient F et G deux bifiltrations d'un anneau A , alors on a les relations suivantes :

$$G \text{ faiblement } F\text{-bonne} \xrightarrow{(a)} G \text{ fortement } F\text{-bonne} \implies G \text{ } F\text{-bonne}$$

$$\Downarrow$$

$$F \text{ DSS-réduction de } G$$

où (a) : F fortement EP

Remarque 5.5. Soient F et G deux bifiltrations d'un anneau A , alors on a les relations suivantes :

$$F \text{ DSS - réduction de } G \xrightarrow{(b)} G \text{ F - bonne } \xrightarrow{(c)} G \text{ fortement entière sur } F$$

\Downarrow (d)

G fortement entière sur F .

(b) : A un anneau quelconque, (c) et (d) : A un anneau noëthérien.

6. Largeur analytique

Définitions 6.1. Soient (A, \mathcal{M}) un anneau local noëthérien, I et J deux idéaux de A et $F = (I_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ une bifiltration (I, J) -bonne de A . D'après [2] la largeur analytique de F est définie par le nombre $\lambda_{\mathcal{M}}(F) = 2 + \deg \varphi_F = \dim \left(\frac{R(A, F)}{\mathcal{M}R(A, F)} \right)$ où $\deg \varphi_F$

est le degré de la fonction numérique $\varphi_F : (m, n) \mapsto \dim_{\frac{A}{\mathcal{M}}} \left(\frac{I_{m,n}}{\mathcal{M}I_{m,n}} \right)$ et $R(A, F) =$

$\bigoplus_{m,n \geq 0} I_{m,n} X^m Y^n$ est l'anneau de Rees de F .

Par convention $\deg(0) = -2$.

Proposition 6.2. Soient (A, \mathcal{M}) un anneau local noëthérien, I et J deux idéaux de A .

Alors les anneaux $G(A, \mathcal{M}, I, J) = \bigoplus_{m,n \geq 0} \frac{I^m J^n}{\mathcal{M}I^m J^n}$ et $\frac{\mathfrak{R}(A, I, J)}{(u, v \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, I, J)}$ sont iso-

morphes où $\mathfrak{R}(A, I, J) = \bigoplus_{m,n \in \mathbb{Z}} I^m J^n X^m Y^n$ est l'anneau de Rees généralisé de I et J

et $u = X^{-1}$ et $v = Y^{-1}$.

En particulier, les anneaux $G(A, \mathcal{M}, I, J) = \bigoplus_{m,n \geq 0} \frac{I^m J^n}{\mathcal{M}I^m J^n}$ et $\frac{R(A, I, J)}{\mathcal{M}R(A, I, J)}$ sont

isomorphes où $R(A, I, J) = \bigoplus_{m,n \in \mathbb{N}} I^m J^n X^m Y^n$ est l'anneau de Rees de I et J .

Preuve. Soit l'application $\varphi : \mathfrak{R}(A, I, J) \longrightarrow G(A, \mathcal{M}, I, J)$ définie par : $\forall x =$

$$\sum_{m=-p}^k \sum_{n=-q}^l a_{m,n} X^m Y^n \in \mathfrak{R}(A, I, J) \text{ avec } a_{m,n}, b_{m,n} \in I^m J^n \text{ et}$$

$$I^m J^n = A \quad \forall m, n \leq 0, \text{ on a : } \varphi(x) = \sum_{m,n \geq 0} (a_{m,n} + \mathcal{M}I^m J^n).$$

(i) φ est surjectif par construction.

(ii) Soient $x = \sum_{m=-p}^k \sum_{n=-q}^l a_{m,n} X^m Y^n$ et $y = \sum_{m=-p}^k \sum_{n=-q}^l b_{m,n} X^m Y^n$ deux éléments de

$\mathfrak{R}(A, I, J)$ avec $a_{m,n}, b_{m,n} \in I^m J^n$ et $I^m J^n = A \quad \forall m, n \leq 0$. On a :

$$\begin{aligned} \varphi(x + y) &= \sum_{m,n \geq 0} (a_{m,n} + b_{m,n}) + \mathcal{M}I^m J^n \\ &= \sum_{m,n \geq 0} (a_{m,n} + \mathcal{M}I^m J^n) + \sum_{m,n \geq 0} (b_{m,n} + \mathcal{M}I^m J^n) \\ &= \varphi(x) + \varphi(y). \end{aligned}$$

(iii) • Soient $x = a_{m,n}X^mY^n$ et $y = b_{p,q}X^pY^q$ deux éléments homogènes de $\mathfrak{R}(A, I, J)$ avec $a_{m,n} \in I^mJ^n$, $b_{p,q} \in I^pJ^q$, $m, n \geq 0$ et $p, q \geq 0$ alors $a_{m,n} \in I^mJ^n$, $b_{p,q} \in I^pJ^q$, alors on a :

$$\begin{aligned}\varphi(xy) &= \varphi(a_{m,n}b_{p,q}X^{m+p}Y^{n+q}) \\ &= a_{m,n}b_{p,q} + \mathcal{M}I^{m+p}J^{n+q} \\ &= (a_{m,n} + \mathcal{M}I^mJ^n)(b_{p,q} + \mathcal{M}I^pJ^q) = \varphi(x)\varphi(y).\end{aligned}$$

• Soient $x = a_{m,n}X^{-m}Y^{-n}$ et $y = b_{p,q}X^{-p}Y^{-q}$ deux éléments homogènes de $\mathfrak{R}(A, I, J)$ avec $a_{m,n} \in A$, $b_{p,q} \in A$, $m, n \geq 0$ et $p, q \geq 0$, alors on a : $\varphi(x) = 0 = \varphi(y)$, $xy = a_{m,n}b_{p,q}X^{-m-p}Y^{-n-q}$ et $\varphi(xy) = 0$.

Donc $\varphi(x).\varphi(y) = \varphi(xy)$.

• Soient $x = a_{m,n}X^mY^n$ et $y = b_{p,q}X^{-p}Y^{-q}$ deux éléments homogènes de $\mathfrak{R}(A, I, J)$ avec $a_{m,n} \in A$, $b_{p,q} \in A$, $m, n \geq 0$ et $p, q \geq 0$, alors on a : $\varphi(x) = a_{m,n} + \mathcal{M}I^mJ^n$, $\varphi(y) = 0$ et $\varphi(x)\varphi(y) = 0$.

$$\varphi(xy) = \varphi(a_{m,n}b_{p,q}X^{m-p}Y^{n-q}) = a_{m,n}b_{p,q} + \mathcal{M}I^{m-p}J^{n-q} = 0.$$

En effet, $I \subseteq \mathcal{M}$ et $J \subseteq \mathcal{M}$ alors on a : $a_{m,n}b_{p,q} \in I^mJ^n = II^{m-1}JJ^{n-1} \subseteq \mathcal{M}I^{m-1}\mathcal{M}J^{n-1} \subseteq \mathcal{M}I^{m-1}J^{n-1} \subseteq \mathcal{M}I^{m-p}J^{n-q}$.

Donc $a_{m,n}b_{p,q} + \mathcal{M}I^{m-p}J^{n-q} = 0$ et $\varphi(x)\varphi(y) = \varphi(xy)$.

Dans tous les cas on a $\varphi(x).\varphi(y) = \varphi(xy)$. Par suite, φ est un homomorphisme d'anneaux.

Montrons que $\ker \varphi = (u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, I, J)$. Soit $x = \sum_{m=-p}^k \sum_{n=-q}^l a_{m,n}X^mY^n \in \ker \varphi$.

Alors $\varphi(x) = \sum_{m=0}^k \sum_{n=0}^l (a_{m,n} + \mathcal{M}I^mJ^n) = 0$ par suite $a_{m,n}X^mY^n \in \mathcal{M}I^mJ^n$ pour tous $m = 0, 1, \dots, k$ et $n = 0, 1, \dots, l$.

Si $0 \leq m \leq k$ et $0 \leq n \leq l$ alors $a_{m,n}X^mY^n \in \mathcal{M}I^mJ^n \subseteq \mathcal{M}\mathfrak{R}(A, I, J) \subseteq (u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, I, J)$.

Si $m = -t < 0$ et $n = -r < 0$ où $t > 0$ et $r > 0$, alors on a $a_{m,n}X^mY^n = a_{-t,-r}X^{-t}Y^{-r} \in (u, v)\mathfrak{R}(A, I, J) \subseteq (u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, I, J)$.

Dans tous les cas on a $a_{m,n}X^mY^n \in (u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, I, J)$.

Donc $\ker \varphi \subseteq (u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, I, J)$.

Réciproquement, on a $\varphi(u) = \varphi(1.X^{-1}) = 0$, donc $u \in \ker \varphi(*)$.

$\varphi(v) = \varphi(1.Y^{-1}) = 0$, donc $v \in \ker \varphi(**)$.

On a aussi $a \in \mathcal{M} \subseteq A \subseteq I^0J^0$, $a = aX^0Y^0$ et $\varphi(a) = a + \mathcal{M}I^0J^0 = a + \mathcal{M} = 0$. Donc $\mathcal{M} \subseteq \ker \varphi(***)$.

De (*), (**) et (***) , on déduit que $(u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, I, J) \subseteq \ker \varphi$. D'où $\ker \varphi =$

$(u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, I, J)$. D'après le premier théorème d'isomorphisme d'anneaux $\frac{\mathfrak{R}(A, I, J)}{(u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, I, J)} \simeq G(A, \mathcal{M}, I, J)$.

On en déduit que $G(A, \mathcal{M}, I, J) = \bigoplus_{m,n \geq 0} \frac{I^mJ^n}{\mathcal{M}I^mJ^n} \simeq \frac{R(A, I, J)}{\mathcal{M}R(A, I, J)}$.

Remarque 6.3. Soient (A, \mathcal{M}) un anneau local nœthérien, I et J deux idéaux de A et $F = (I_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{Z}^2}$ une bifiltration (I, J) -bonne de A .

$$\begin{aligned}
\text{Alors } \lambda_{\mathcal{M}}(F) &= \dim \frac{R(A, F)}{\mathcal{M}R(A, F)} \\
&= \dim \frac{R(A, I, J)}{\mathcal{M}R(A, I, J)} \\
&= \dim G(A, \mathcal{M}, I, J) \\
&= \dim \frac{\mathfrak{R}(A, I, J)}{(u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, I, J)} \stackrel{\text{car}}{=} \frac{\mathfrak{R}(A, I, J)}{(u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, I, J)} \simeq G(A, \mathcal{M}, I, J).
\end{aligned}$$

Définitions 6.4. La variété d'un idéal I d'un anneau A est définie par le nombre $V(I) = \{P \in \text{Spec}(A), P \supseteq I\}$ où $\text{Spec}(A)$ est l'ensemble des idéaux premiers de A .

Un élément $x \in A$ est dit entier sur un idéal I de A s'il vérifie une équation de la forme $x^n + a_1x^{n-1} + \dots + a_n = 0$ où $a_j \in I^j$ pour tout j .

Soit $f = (I_n)_{n \in \mathbb{N}} \in \mathbb{F}(A)$. Un élément $x \in A$ est dit entier sur f de A s'il vérifie une équation de la forme $x^n + a_1x^{n-1} + \dots + a_n = 0$ où n est un entier naturel et $a_j \in I_j$ pour tout j . La clôture intégrale de l'idéal I est l'ensemble noté I' des éléments x de A entiers sur I . On a $I \subseteq I' \subseteq \sqrt{I}$ où $\sqrt{I} = \{x \in A, \exists n \in \mathbb{N}^*, x^n \in I\}$ est la racine carrée de I . La cohauteur de I notée $\text{coht}I = \dim \frac{A}{I} = \sup_{p \in V(I)} \left(\dim \frac{A}{p} \right)$.

Proposition 6.5. Soient $F = (I_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ et $G = (J_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ deux bifiltrations sur un anneau nœthérien A telles que $F \leq G$.

Si F est une DSS-réduction de G , alors on a :

- (i) $R(A, G)$ est une $R(A, F)$ -algèbre finie.
- (ii) $\mathfrak{R}(A, G)$ est entier sur $\mathfrak{R}(A, F)$.

Preuve. (i) Si F est une DSS-réduction de G , alors d'après le Théorème 3.3 et le Corollaire 3.4, $R(A, G)$ est engendré en tant que $R(A, F)$ -module par $J_{p,q}X^pY^q$ en nombre fini ($0 \leq p \leq d$) et ($0 \leq q \leq d'$) car A est nœthérien. Donc $R(A, G)$ est une $R(A, F)$ -algèbre finie.

(ii) Comme $F \leq G$, on a $\mathfrak{R}(A, F) \subseteq \mathfrak{R}(A, G)$. On a aussi $\mathfrak{R}(A, G) = R(A, G)[X^{-1}, Y^{-1}]$. D'après (i) tout élément de $R(A, G)$ est entier sur $R(A, F)$ donc entier sur $\mathfrak{R}(A, F)$. De plus X^{-1} et Y^{-1} sont entiers sur $\mathfrak{R}(A, F)$ car $X^{-1} \in \mathfrak{R}(A, F)$ et $Y^{-1} \in \mathfrak{R}(A, F)$. Par conséquent $\mathfrak{R}(A, G)$ est entier sur $\mathfrak{R}(A, F)$.

Théorème 6.6. Soient $F = (I_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ et $G = (J_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ deux bifiltrations sur un anneau local (A, \mathcal{M}) telles que $F \leq G$.

(i) Si $R(A, G)$ est entier sur $R(A, F)$ alors $\text{coht}(\mathcal{M}R(A, F)) = \text{coht}(\mathcal{M}R(A, G))$.

(ii) Si A est nœthérien et F est une DSS-réduction de G , $\text{coht}(\mathcal{M}R(A, F)) = \text{coht}(\mathcal{M}R(A, G))$.

Preuve. (i) Si $R(A, G)$ est entier sur $R(A, F)$ alors $\dim R(A, G) = \dim R(A, F)$ d'une part et d'autre part l'anneau $\frac{R(A, G)}{\mathcal{M}R(A, G)}$ est entier sur l'anneau $\frac{R(A, F)}{R(A, F) \cap \mathcal{M}R(A, G)}$. Par conséquent ces deux anneaux ont même dimension de Krull.

$$\text{Donc } \dim \frac{R(A, G)}{\mathcal{M}R(A, G)} = \dim \frac{R(A, F)}{R(A, F) \cap \mathcal{M}R(A, G)}.$$

D'autre part, on a $\mathcal{MR}(A, F) \subseteq R(A, F) \cap \mathcal{MR}(A, G) \subseteq (\mathcal{MR}(A, F))'$ où $(\mathcal{MR}(A, F))'$ est la clôture intégrale de l'idéal $\mathcal{MR}(A, F)$.

Ainsi $\sqrt{\mathcal{MR}(A, G)} \subseteq \sqrt{R(A, F) \cap \mathcal{MR}(A, G)} \subseteq \sqrt{(\mathcal{MR}(A, F))'} = \sqrt{\mathcal{MR}(A, F)}$.

D'où l'égalité $\sqrt{\mathcal{MR}(A, F)} = \sqrt{R(A, F) \cap \mathcal{MR}(A, G)} = \sqrt{(\mathcal{MR}(A, F))'}$. Il en résulte en prenant les variétés que $V(\mathcal{MR}(A, F)) = V((R(A, F) \cap \mathcal{MR}(A, G)))$.

Donc en prenant leurs cohauteurs on obtient :

$$\dim \frac{R(A, F)}{\mathcal{MR}(A, F)} = \dim \frac{R(A, F)}{R(A, F) \cap \mathcal{MR}(A, G)} = \dim \frac{R(A, G)}{\mathcal{MR}(A, G)}.$$

$$D'où \text{coht}(\mathcal{MR}(A, F)) = \dim \frac{R(A, F)}{\mathcal{MR}(A, F)} = \dim \frac{R(A, G)}{\mathcal{MR}(A, G)} = \text{coht}(\mathcal{MR}(A, G)).$$

(ii) Si A est noëthérien et F est une DSS-réduction de G , alors d'après (i) de la Proposition 6.5, tout élément de $R(A, G)$ est entier sur $R(A, F)$. Donc $R(A, G)$ est entier sur $R(A, F)$ et (i) du Théorème 6.6, on déduit que $\text{coht}(\mathcal{MR}(A, F)) = \text{coht}(\mathcal{MR}(A, G))$.

Définitions 6.7. Soient A un anneau, I un idéal de A , f une filtration de A et F une bifiltration de A . J.S. Okon a défini dans [5] la largeur analytique $\lambda(I)$ de I et la largeur analytique $\lambda(f)$ de f par :

$$\lambda(I) = \sup_{\mathcal{M} \in \max A} \left(\dim \frac{\mathfrak{R}(A, I)}{(u, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, I)} \right) \text{ et } \lambda(f) = \sup_{\mathcal{M} \in \max A} \left(\dim \frac{\mathfrak{R}(A, f)}{(u, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, f)} \right) \text{ où } \mathfrak{R}(A, I) \text{ (resp. } \mathfrak{R}(A, f)) \text{ est l'anneau de Rees généralisé de } I \text{ (resp. de } f) \text{ et } u = X^{-1}. \text{ Nous rappelons que } \mathfrak{R}(A, I) = \bigoplus_{n \in \mathbb{Z}} I_n X^n \text{ et } \mathfrak{R}(A, f) = \bigoplus_{n \in \mathbb{Z}} I_n X^n \text{ lorsque } f = (I_n)_{n \in \mathbb{Z}}.$$

Théorème 6.8. Soient $F = (I_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ et $G = (J_{m,n})_{(m,n) \in \mathbb{N}^2}$ deux bifiltrations sur un anneau local (A, \mathcal{M}) telles que $F \leq G$.

(i) Si $\mathfrak{R}(A, G)$ est entier sur $\mathfrak{R}(A, F)$, alors $\text{coht}(u, v, \mathcal{M}\mathfrak{R}(A, F)) = \text{coht}((u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, G))$.

(ii) Si A est noëthérien et si F est une DSS-réduction de G , alors $\text{coht}((u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, F)) = \text{coht}((u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, G))$.

Preuve.

$$(i) \text{coht}((u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, F)) = \dim \frac{\mathfrak{R}(A, F)}{(u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, F)} = \sup_{p \in V(u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, F)} \left(\dim \frac{\mathfrak{R}(A, F)}{p} \right).$$

Pour tout $p \in V(u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, F)$, il existe un idéal premier P de $\mathfrak{R}(A, G)$ tel que $P \cap \mathfrak{R}(A, F) = p$. On a $P \supseteq (u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, G)$.

Si $\mathfrak{R}(A, G)$ est entier sur $\mathfrak{R}(A, F)$, alors $\frac{\mathfrak{R}(A, G)}{P}$ est entier sur $\frac{\mathfrak{R}(A, F)}{p}$ et $\dim \frac{\mathfrak{R}(A, F)}{p} = \dim \frac{\mathfrak{R}(A, G)}{P}$. Or $\dim \frac{\mathfrak{R}(A, G)}{P} \leq \dim \frac{\mathfrak{R}(A, G)}{(u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, G)}$, donc

$$\dim \frac{\mathfrak{R}(A, F)}{(u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, F)} = \sup_{p \in V(u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, F)} \left(\dim \frac{\mathfrak{R}(A, F)}{p} \right) \leq \dim \frac{\mathfrak{R}(A, G)}{(u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, G)} (*).$$

Réciproquement, soit P un idéal premier de $\mathfrak{R}(A, G)$ contenant $(u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, G)$. Posons $P \cap \mathfrak{R}(A, F) = p$. Alors $p \supseteq (u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, F)$.

Donc $\dim \frac{\mathfrak{R}(A, G)}{P} = \dim \frac{\mathfrak{R}(A, F)}{p} \leq \dim \frac{\mathfrak{R}(A, F)}{(u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, F)}$ et

$\dim \frac{\mathfrak{R}(A, G)}{(u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, G)} \leq \dim \frac{\mathfrak{R}(A, F)}{(u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, F)}^{(**)}$.

On déduit de (*) et de (**) que :

$\dim \frac{\mathfrak{R}(A, G)}{(u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, G)} = \dim \frac{\mathfrak{R}(A, F)}{(u, v, \mathcal{M})\mathfrak{R}(A, F)}$. D'où $\text{coht}((u, v, \mathcal{M})R(A, F)) = \text{coht}((u, v, \mathcal{M})R(A, G))$.

(ii) Si A est noethérien et si F est une DSS-réduction de G , alors $\mathfrak{R}(A, G)$ est entier sur $\mathfrak{R}(A, F)$ d'après (ii) de la Proposition 6.5.

D'où $\text{coht}((u, v, \mathcal{M})R(A, F)) = \text{coht}((u, v, \mathcal{M})R(A, G))$, d'après (i) du Théorème 6.8.

Références

- [1] Aboubacrine Assadek, Réduction au sens de DSS d'une filtration noethérienne de réduite fortement noethérienne, Thèse de Doctorat soutenue à Bamako en (2011).
- [2] B.I.Touré, B. Hama, M. Traoré, largeur analytique d'une bifiltration d'anneau, Annales Mathématiques Africaines, volume 8(2020) pp.15 – 26.
- [3] H.DICHI and D.SANGARE, On the Hilbert quasi-polynomial functions of finitely generated bigraded modules over non standard bigraded rings, Africa Mathematics Annals, Volume 4(2013) P.(7 – 28).
- [4] Idrissa Yaya, Classification and Réduction of bifiltrations, International Journal of Algebra, volume 12, 2018, n0.8, 319 – 332.
- [5] J. S. Okon, Primes divisors, analytic spread and filtrations. Pacific Journal of mathematics vol . 132 n02 (1984), p.451 – 462.
- [6] Mahamadou Soumaré, Réduction de filtrations, Thèse de Doctorat soutenue (1990) à l'Université Nationale d'Abidjan de Côte d'Ivoire.
- [7] Moussa SANGARE, Daouda SANGARE et Yoro DIAKITE, on a characterization of EP bifiltrations on commutative rings, Annales Mathématique Africaines de , Volume 6 (2017), pp.35 – 44
- [8] N. Bourbaki, Algèbre Commutative , Chapitre 5, Masson Paris (1985).

Modélisation et simulation de la qualité de l'air à Bamako

Abdoulaye Samaké^{1,*}, Amadou Mahamane¹, Ouaténi Diallo¹

¹ Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, BPE 423, Bamako, Mali.

Résumé

Nous proposons un framework mathématique en vue de la mise en place effective d'un système de surveillance et de prédiction efficace, robuste et fiable de la qualité de l'air ambiant dans la ville de Bamako à travers la simulation numérique. Le modèle mathématique auquel nous nous intéressons pour décrire l'évolution spatio-temporelle de la concentration des polluants dans l'air est donné par une équation aux dérivées partielles de type advection-diffusion-réaction, appelé modèle de Chimie-Transport. La méthode des éléments finis est utilisée pour assurer la discrétisation spatiale du modèle continu tandis que sa discrétisation temporelle est réalisée en utilisant la méthode des différences finies. L'implémentation numérique du modèle discret se fait en utilisant un logiciel d'analyse par éléments finis écrit en C++ avec des supports de calcul parallèle et distribué. Nous présentons quelques résultats de simulations numériques en considérant le monoxyde de carbone (CO) provenant du trafic routier.

Mots clés : modélisation, simulation, qualité de l'air, éléments finis.

1. Introduction

La ville de Bamako est construite dans une cuvette entourée de collines favorisant un emprisonnement des gaz plus lourds que l'air. Elle s'étend d'ouest en est sur 22 km et du nord au sud sur 12 km, pour une superficie de 267 km².

Bamako[1], capitale politique et économique du Mali, abrite plus de 70% des activités économiques du pays. Le développement de son secteur de transport routier est caractérisé par la prédominance de véhicules d'occasion, de motocycles, ainsi que le mauvais état des infrastructures routières. Ce secteur est le principal facteur favorisant la pollution de l'air en milieu urbain, loin devant les émissions des usines, l'incinération des déchets, les feux domestiques et de brousse, la poussière en suspension (due au vent ou soulevée par les différents engins).

Le transport urbain consomme à lui seul plus de quatre fois le volume de carburant réservé au secteur industriel. L'importation libéralisée de véhi-

cules a occasionné l'acquisition d'un nombre important de véhicules usagés par rapport aux véhicules neufs. Il en résulte que le parc de transport routier est vétuste, avec près de 75% de véhicules de plus de 15 ans. Le nombre important de véhicules à deux roues, l'âge avancé de la majorité des véhicules à quatre roues et l'accroissement de la population figurent au devant des facteurs incriminés de la pollution atmosphérique. Les nombreux gaz d'échappement des véhicules, que sont le monoxyde de carbone, le dioxyde de carbone, le dioxyde de soufre, le dioxyde d'azote, le plomb, les aromatiques constituent les principaux polluants dans l'air de Bamako. Cela se traduit souvent par une faible visibilité due aux fumées des gaz d'échappement des véhicules (alimentés pour la plupart par du diesel) qui se dissipent peu dans la grande cuvette de Bamako.

Une étude sur la qualité de l'air à Bamako a été conduite par le Ministère de l'Environnement et de l'Assainissement de septembre 2009 à janvier 2010 ayant comme objectif d'examiner la situation actuelle de la qualité de l'air et des émissions à Bamako. L'étude a porté ainsi sur la réglementation actuelle, la critique des données de qualité de l'air existantes, la météorologie et son impact sur la qualité de l'air, le bilan énergétique du pays et

*. Auteur correspondant

Adresses email :

abdoulaye.samake@usttb.edu.ml (Abdoulaye Samaké), moulaye.ahmad@gmail.com (Amadou Mahamane), ouateni.diallo@usttb.edu.ml (Ouaténi Diallo)

son application à Bamako, le parc automobile et sa consommation de carburant, la situation de la voirie urbaine et l'analyse des émissions autres que celles du trafic automobile. Les résultats de l'étude révèlent que la pollution de l'air est essentiellement due au trafic automobile (y compris les deux roues), soit par les émissions directes venant des moteurs à combustion, soit par la mise en suspension de particules provoquées par la circulation sur des voies poussiéreuses et la pollution venant des foyers domestiques utilisant du bois.

Dans la ville de Bamako, la concentration moyenne annuelle en particule PM10 a été estimée à $333 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [2, 3, 4, 5, 6], avec des pointes journalières dépassant $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$, alors que la recommandation journalière de l'OMS est de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à ne pas dépasser plus de 3 jours. L'exposition de la charge polluante de l'air affecte principalement les systèmes respiratoires, circulatoires olfactifs et optiques avec un accent particulier sur le système respiratoire, principale voie d'entrée des polluants dans l'organisme. Ces polluants introduits dans l'organisme peuvent se retrouver dans le sang, l'urine, le foie, la moelle, l'os, les cheveux et les dents et amorcer une destruction certaine mais lente de l'organisme. Des anomalies de l'ADN, le risque de développement de cancer, de perturbations hématologiques, les risques d'affection cardio-vasculaires, de reins et du système nerveux ne sont pas à occulter. Bien que les résultats des statistiques des maladies liées à la seule pollution atmosphérique ne sont pas disponibles, on peut noter que parmi les personnes les plus sensibles à cette charge polluante figurent les enfants. On estime une augmentation du taux de mortalité à Bamako due à la qualité de l'air à 23%. La pollution par les pots d'échappement des automobiles étant effective, il paraît utile d'identifier les principaux polluants que l'on retrouve dans les émissions. Il s'agit des oxydes de carbones, d'azote, de soufre, les particules en suspension et fumées, de l'ozone, du plomb, des hydrocarbures, l'hydrogène sulfuré (H₂S), des mercaptans et des aldéhydes. L'élimination de ces polluants de l'organisme peut prendre des années et n'est pas toujours évidente. Les différents polluants agissent chacun pour son compte mais aussi en interaction.

Les différentes affections les plus souvent notées au sein de la population de Bamako sont : la pneumonie, la bronchite chronique (toux sèche, gêne

respiratoire, l'asthme du à la poussière, l'emphyse pulmonaire (dilatation des alvéoles), le cancer des poumons, les troubles cardio-vasculaires, l'hyperglobulie, l'anémie due aux traces de monoxyde de carbone, les inflammation oculaires, les affections ORL, les intoxication alimentaires, les troubles respiratoires.

Face à ce défi de santé publique et environnemental, le contrôle de la qualité de l'air dans la ville de Bamako, afin d'évaluer des risques sanitaires et environnementaux des populations, est aujourd'hui plus qu'une exigence pour le Mali qui voit croître chaque année sa population et son secteur de transport. Dans ce article, nous proposons un modèle mathématique pour la simulation de la qualité de l'air à Bamako et son implémentation numérique.

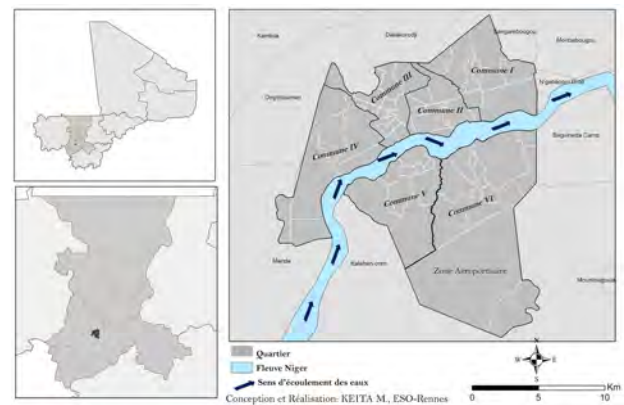


FIGURE 1.1 : Localisation et découpage administratif de la ville de Bamako [1]



FIGURE 1.2 : Réseau du trafic routier de Bamako (source Google Maps)

Cet article est organisé comme suit. Dans la section 2, nous présentons le modèle mathématique décrivant l'évolution spatio-temporelle de la concentration des polluants dans l'air. La section 3 est consacrée à l'extraction de la carte de la ville de

Bamako et à la génération du maillage du domaine de calcul. Dans la section 4, nous présentons les résultats numériques et discutons de leurs interprétations. Nos principales conclusions sont récapitulées dans la section 5.

2. Description du modèle

L'étude et la prévision de la qualité de l'air [7, 8, 9] repose traditionnellement sur la modélisation

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial c_i}{\partial t} + \underbrace{\nabla \cdot (\mathbf{u}c_i)}_{\text{advection}} - \underbrace{\nabla \cdot (\mu \nabla c_i)}_{\text{diffusion}} - \underbrace{\chi_i(c)}_{\text{chimie}} + \underbrace{\Lambda_i(x, t)c_i}_{\text{lessivage}} = \underbrace{S_i}_{\text{terme source}} \quad \text{dans } \Omega \times (0, T) \\ \text{+Conditions initiales} \\ \text{+Conditions aux limites} \end{array} \right. \quad (2.1)$$

où

(i) $c_i = c_i(\mathbf{x}, t)$: la concentration du polluant i (ii) $\mu(\mathbf{x}, t)$: le coefficient de diffusion (iii) $\mathbf{u} = \mathbf{u}(\mathbf{x}, t)$: la vitesse du vent (iv) $\chi_i = \chi_i(\mathbf{x}, t)$: le bilan des transformations physico-chimiques de l'espèce (v) $\Lambda_i(\mathbf{x}, t)$: la paramétrisation des processus de lessivage du polluant (vi) $S_i = S_i(\mathbf{x}, t)$: les sources (émissions) surfaciques de l'espèce (vii) $\mathbf{x} = (x, y, z)$: la variable d'espace, avec x et y les variables de la surface plane et z l'altitude (viii) t : le temps physique. Ce modèle repose sur l'hypothèse qu'il n'y a pas de rétroaction entre les espèces chimiques et les champs d'écoulement (vitesse du vent, diffusivité turbulente, température) et que la densité de l'air ne dépend pas de l'altitude.

2.1. Conditions initiales et aux limites

On suppose que le domaine Ω est exempt de pollution au début de la simulation. Par conséquent, la condition initiale (à l'instant $t = 0$) est définie pour l'espèce i par $c_i = 0$.

Une hypothèse usuelle consiste à considérer que les phénomènes d'advection par le vent sont prépondérants horizontalement, alors que les phénomènes de transport vertical sont dominés par la diffusion. Nous supposons que le terrain urbain est homogène et par conséquent, la concentration moyenne du polluant est considéré comme une constante le long de la composante y perpendiculaire à x (direction du vent). En plus, l'advection

et la simulation numérique. Soient $\Omega \subset \mathbb{R}^3$ un domaine borné et $\partial\Omega$ le bord de Ω . Soit c un vecteur de champs de concentrations, où chaque élément c_i correspond au champ scalaire de concentration de l'espèce chimique (polluant) i dans l'air. L'évolution spatio-temporelle de la concentration c_i dans le domaine Ω sur l'intervalle de temps $(0, T)$ est décrit par l'équation d'advection-diffusion-réaction suivante :

et la diffusion dans la direction y sont moyennées latéralement. A partir de ces hypothèses, nous pouvons éliminer tous les termes dépendant de la composante y des axes des coordonnées.

Les conditions aux limites au niveau du sol ($z = 0$) sont données par une contribution des dépôts et des émissions. Elles s'expriment sous la forme :

$$\mu \nabla c_i \cdot \mathbf{n}_z = E_i - v_i^{dep} c_i \quad (2.2)$$

où E_i représente les émissions (routières) de l'espèce i , \mathbf{n}_z le vecteur normal extérieur au sol et v_i^{dep} la vitesse de dépôt [10]. Cette vitesse v_i^{dep} est paramétrisé par espèce chimique en fonction des conditions météorologiques en couche limite et du type de sol (Land Use Coverage). Les conditions aux limites à la limite supérieure du domaine ($z = H$, H où H désigne l'altitude maximale) sont définies comme suit :

$$\mu \nabla c_i \cdot \mathbf{n}_z = 0. \quad (2.3)$$

2.2. Paramétrisation du coefficient de diffusion

Le coefficient de diffusion μ résulte de la somme d'une matrice de diffusion moléculaire μ_{mol} et d'une matrice de diffusion turbulente μ_{turb} [11]. La matrice μ_{mol} dépend des espèces et prend en compte la diffusion intermoléculaire. La matrice μ_{turb} , qui est fonction des champs météorologiques et de leurs gradients, est supposée être la même pour toutes les espèces et la diffusion turbulente intermoléculaire est négligée. Elle est diagonale et on note en général μ_x , μ_y et μ_z les termes

associés à la diffusion turbulente dans les directions x , y et z , respectivement. En pratique, μ_{turb} est beaucoup plus élevé que μ_{mol} (typiquement de l'ordre de $10^{-5}m^2s^{-1}$). Le flux de diffusion est par conséquent principalement le flux de diffusion turbulente, sauf dans une mince couche laminaire juste au dessus du sol [11]. Les termes de diffusion horizontaux peuvent généralement être négligés par rapport à l'advection. Par conséquent, seule la diffusion verticale décrite par μ_z (typiquement de l'ordre de $10 - 20m^2s^{-1}$) est souvent prise en compte.

2.3. Dépôts

On dit que les polluants se déposent au sol lorsqu'ils sont absorbés par l'eau, le sol ou la végétation. Ce phénomène constitue un terme de perte. Son intensité dépend des polluants, des conditions météorologiques, du rayonnement, du lieu (type et densité de végétation), de la saison (état de la végétation). Le dépôt est plus fort en journée et il est accru par le rayonnement qui augmente le transport vertical turbulent. Au-dessus des masses d'eau, il croît avec la solubilité de l'espèce considérée [12]. Le flux de dépôt sec est directement proportionnel à la concentration au-dessus du sol de l'espèce qui se dépose [12].

$$D = -v^{dep}c \quad (2.4)$$

Le flux D représente le flux vertical de dépôt sec, c'est à dire la quantité de matière qui se dépose par unité de surface et unité de temps. La constante de proportionnalité, v^{dep} , entre le flux et la concentration c est appelée la vitesse de dépôt. Elle est paramétrisée par espèce chimique et est fonction des conditions météo en couche limite de surface et du type de sol caractérisé par son Land Use Coverage (LUC) et son paramètre de rugosité spécifique noté z_0 [11, Table 3.5]. Cette paramétrisation diffère selon qu'il s'agisse de gaz ou de particules et peut suivre des lois différentes à la surface de l'eau. Quelques valeurs indicatives de la vitesse de dépôt v^{dep} en fonction de LUC sont rapportées dans [7, Table 3]. Une illustration de l'évolution de la vitesse v^{dep} en fonction de la taille des particules pour certaines valeurs de la vitesse du vent est présentée dans [11, Fig. 3.24].

On qualifie de dépôt humide ou de lessivage la perte due aux transferts de masse avec la phase aqueuse (nuages ou pluies). Les polluants solubles

peuvent pénétrer les gouttes de pluie lors de leur chute et sont ainsi précipités au sol. Ce type de dépôt est connu sous le nom "below-cloud scavenging" (BCS). Une autre forme de lessivage a lieu dans les nuages où les polluants solubles ont des échanges (transferts de masse) avec les gouttes d'eau. Ce type de dépôt est connu sous le nom "in-cloud scavenging" (ICS). Le lessivage a un rôle de premier plan pour les espèces en phase gazeuse soluble et les aérosols, car il régit leur temps de séjour dans l'atmosphère. Même si la pluviosité est un processus clé des modèles de pollution, ils se concentrent généralement sur le lessivage BCS, car il n'y a pas suffisamment de données relatives au lessivage ICS [12]. L'évolution temporelle des concentrations lessivées est donnée par :

$$\frac{dc}{dt} = -\Lambda c \quad (2.5)$$

Le coefficient Λ , appelé coefficient de lessivage, est la paramétrisation de l'ensemble des processus de lessivage. Il dépend des propriétés de la pluie (intensité et distribution) et de la matière lessivée. À travers de nombreuses données d'observation, il en résulte que le coefficient de lessivage des aérosols peut être paramétré comme suit [11, Chapter 5, Section 5.3.2] :

$$\Lambda = Ap_0^B \quad (2.6)$$

où p_0 (en $mm\ h^{-1}$) est l'intensité de la pluie et A et B des constantes spécifiques dépendantes des aérosols. Pour la fraction grossière des aérosols (diamètres supérieurs à $1\mu m$), les valeurs typiques des coefficients A et B sont : $A \in [10^{-5}, 10^{-3}]$ et $B \approx 0.8$. Pour la fraction submicronique des aérosols (diamètres inférieurs à $1\mu m$), on a : $A \in [10^{-8}, 10^{-6}]$ et $B \approx 0.6$. Plusieurs tableaux rapportant des valeurs typiques de A et B , parfois issues des données expérimentales, en fonction des fractions de taille des aérosols sont présentés dans [7]. Une illustration de valeurs du coefficient Λ en fonction de la taille des aérosols pour différentes intensités p_0 de la pluie est également présentée dans [7, Fig. 3.].

2.4. Cinétique Chimique

L'évolution temporelle des concentrations des espèces du fait de la cinétique chimique dans l'équation de dispersion réactive (2.1) est décrite par le système d'EDO suivant :

$$\frac{dc_i}{dt} = \chi_i(c), \quad 1 \leq i \leq n \quad (2.7)$$

Cette intégration en temps de la cinétique chimique présente plusieurs difficultés. La première est associée à la grande dimension ($n \gg 1$) du système. Un mécanisme de chimie en phase gazeuse à même de décrire la pollution photochimique va contenir de l'ordre d'une centaine d'espèces. Le fait que ces espèces soient couplées entre elles via des réactions chimiques donne une nature non-linéaire au système (2.7). La seconde difficulté est liée à la dispersion des échelles de temps qui induit sur le plan numérique la raideur du système. De nombreuses méthodes explicites ou quasi-explicites dédiées à la résolution du système (2.7) sont présentes dans la littérature [13]. Parmi elles, la classe de méthodes dite QSSA (Quasi Steady State Assumption) reste encore largement utilisée et est basée sur la forme dite de "production-consommation" du terme de cinétique chimique dans (2.7) :

$$\chi_i(c) = P_i(c) - L_i(c)c_i \quad (2.8)$$

où P_i et L_i sont deux termes positifs ou nuls. Il s'agit pour chaque espèce de regrouper les réactions dans lesquelles l'espèce est un réactant (terme de perte) et celles dans lesquelles elle est un produit (terme de production).

Si l'on considère que P_i et L_i (vitesse de réaction) sont des constantes, alors la concentration s'exprime sous la forme :

$$c(t) = \left(c(0) - \frac{P_i}{L_i} \right) \exp(-L_i t) + \frac{P_i}{L_i} \quad (2.9)$$

avec une échelle temps caractéristique de $1/L_i$. Par extension, l'échelle de temps caractéristique ou durée de vie [14] dans l'atmosphère de l'espèce chimique i est donnée sous la forme :

$$\tau_i = \frac{1}{L_i}. \quad (2.10)$$

La durée de vie représente le temps moyen passé par un polluant dans l'atmosphère avant qu'elle ne soit éliminée lors des processus de perte tels que le dépôt et les réactions chimiques. La distance caractéristique (échelle spatiale) à laquelle les espèces peuvent être transportées est corrélée à la durée de vie. Si les espèces émises ont une durée de

vie courte (minutes-heures), généralement des espèces réactives ou des aérosols, les polluants ne peuvent pas être transportés sur une longue distance et leurs effets seront concentrés à l'échelle locale. Cependant, d'autres espèces chimiques qui ont des durées de vie plus longues (heures-jours) peuvent avoir une plus grande zone d'impact où des échelles régionales ou continentales seront nécessaires. L'échelle de temps caractéristique τ_i associé au dépôt dans une couche atmosphérique de hauteur H pour une espèce i peut être calculée à partir de sa vitesse de dépôt v_i^{dep} comme suit :

$$\tau_i = \frac{H}{v_i^{dep}} \quad (2.11)$$

Le tableau TABLE 2.1 résume les champs et paramètres physiques, incluant leurs noms, leur description et leurs unités dans le Système International (SI).

TABLE 2.1 : Champs et paramètres physiques du modèle

kg m s ⁻²		
Symbole	Nom	Unité
c	concentration	kg m ⁻³
\mathbf{u}	vitesse du vent	m s ⁻¹
μ_z	diffusion verticale	m ² s ⁻¹
v^{dep}	vitesse de dépôt	m s ⁻¹
Λ	coefficient de lessivage	s ⁻¹
S	émissions volumiques	kg m ⁻³ s ⁻¹
E	émissions surfaciques	kg m ⁻² s ⁻¹

3. Génération de maillage

Nous décrivons le processus de génération et de traitement d'un maillage de notre domaine de calcul. Nous avons extrait une carte de Bamako avec OpenStreetMap (OSM), un projet collaboratif qui vise à construire une carte du monde modifiable gratuitement. Cette carte, qui contient entre autres les informations sur les bâtiments, les réseaux routiers et les données géospatiales initialement exprimées dans le World Geodetic System 1984 (WGS 84, EPSG : 4326), a ensuite été éditée à l'aide d'un éditeur extensible pour les données OSM appelé JOSM. Nous importons cette carte modifiée dans QGIS [15], une application open source et multiplateforme de système d'information géographique (SIG) qui prend en charge la visualisation, l'édition et l'analyse des données géospatiales. Depuis QGIS, un plugin qui interagit avec le généra-

teur de maillage Gmsh [16] permet de générer et d'exporter un fichier de géométrie pour le domaine de calcul selon le référentiel de coordonnées UTM (zone 29N). Ensuite, nous générons le maillage de calcul bidimensionnel (2D) en utilisant le logiciel Gmsh. Ce maillage contient toutes les informations nécessaires au code de simulation, et en particulier les routes (en termes de balisage) où des polluants sont émis par les véhicules.

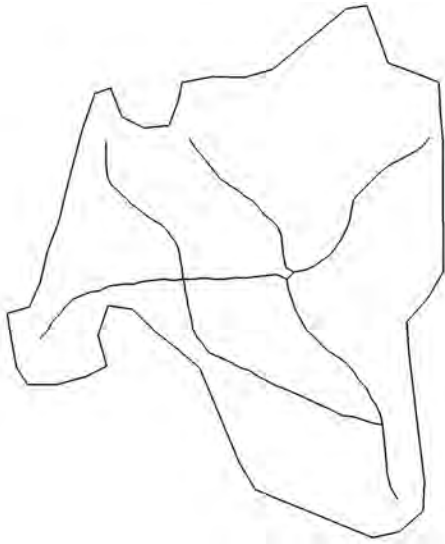


FIGURE 3.1 : Contour de la ville de Bamako avec les principaux axes routiers

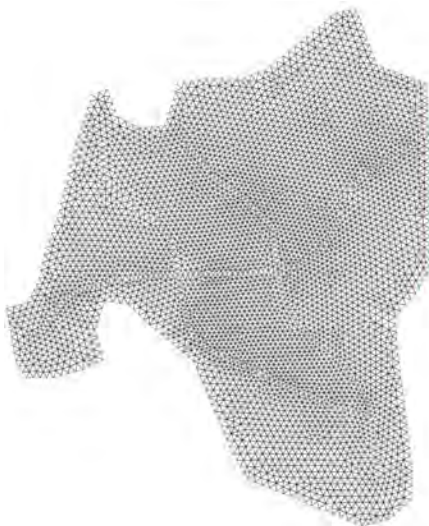


FIGURE 3.2 : Maillage du domaine généré avec Gmsh

4. Résultats numériques

Dans cette partie, le polluant que nous considérons est le monoxyde de carbone (CO). C'est un gaz inodore et incolore émis dans la ville principalement par des véhicules motorisés, très loin devant les quantités produites durant des processus

de combustion. Nous allons considérer une cinétique de réaction chimique d'ordre 1 à coefficient constant (voir la section 2.4). Par conséquent le bilan des transformations physico-chimiques (voir le modèle 2.1) peut s'écrire sous la forme $\chi_i = -\kappa C_i$, où κ est la constante de réaction. Nous supposons que les pertes causées par les processus de dépôt et de lessivage sont négligeables, c'est-à-dire que le coefficient $\Lambda = 0$. Les valeurs des paramètres physico-chimiques correspondant au monoxyde de carbone (CO) utilisées pour la réalisation des simulations sont : $\mu_z = 3.110^{-9} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ et $\kappa = 1.6710^{-6} \text{s}^{-1}$. L'altitude maximale $H = 10 \text{m}$.

Les données de vent et d'émission du trafic sont nécessaires pour initier une simulation. Les données de vent utilisées dans ce travail sont obtenues du Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMMT). Ces données sont généralement de résolutions trop grossières pour une simulation de la pollution atmosphérique à l'échelle locale. Nous avons par conséquent procédé à un pré-traitement (interpolation) de ces données afin d'avoir suffisamment de points de données couvrant la ville de Bamako.

Concernant les émissions induites par le trafic, elles sont estimées à partir des simulations microscopiques du trafic routier à l'aide de SUMO (Simulation of Urban MObility)[17], une suite de simulations de trafic routier multimodale à source ouverte, microscopique et continue conçue pour gérer de grandes réseaux routiers. Nous avons réalisé en amont du lancement de nos simulations, des scénarios de simulations du trafic avec SUMO pendant certaines heures de pointe dans la ville.



FIGURE 4.1 : Dynamique de la concentration (en mg/m^3) du monoxyde de carbone (CO) dans le trafic routier le 21 juin 2021 à 7 heures du matin

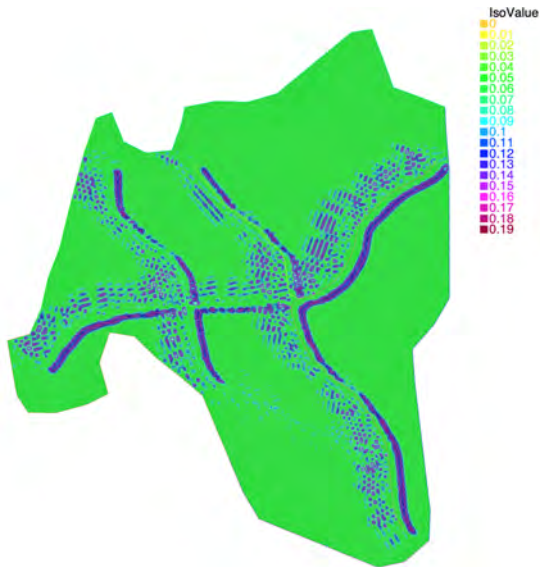


FIGURE 4.2 : Dynamique de la concentration (en mg/m^3) du monoxyde de carbone (CO) dans le trafic routier le 21 juin 2021 à 9 heures du matin

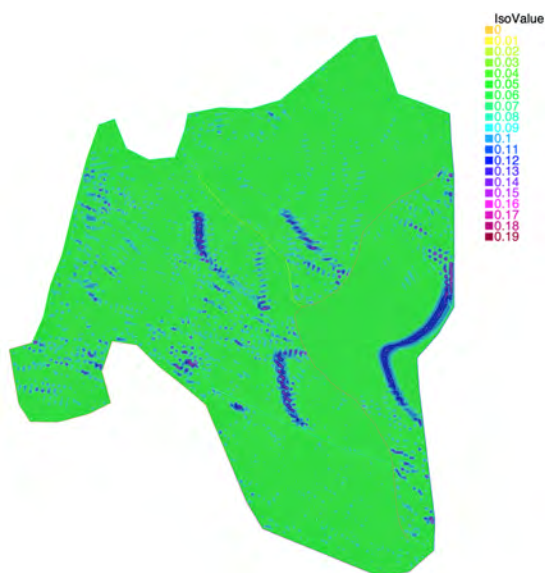


FIGURE 4.3 : Dynamique de la concentration (en mg/m^3) du monoxyde de carbone (CO) dans le trafic routier le 21 juin 2021 à 11 heures du matin

Dans la figure 4.1, on observe une nette concentration du polluant autour des axes routiers sans advection due au vent et sans diffusion apparente, car la simulation vient de commencer. Dans la figure 4.2, résultat après deux heures de simulation, on observe un effet du vent manifesté par un début d'advection et une diffusion très localisée. Enfin, dans la figure 4.3, résultat après trois heures de simulation, on observe une action soutenue du vent et une diffusion assez généralisée. Ces résultats apparaissent cohérents et proches des observations. Toutefois, des tests de comparaison avec les don-

nées issues des observations sont nécessaires pour une éventuelle validation de nos résultats.

5. Conclusion

Dans ce article, nous avons proposé un framework mathématique et son implémentation numérique en vue de la mise en place d'un système de surveillance et de prédiction de la qualité de l'air ambiant dans la ville de Bamako. L'équation d'advection-diffusion-réaction décrivant l'évolution spatio-temporelle de la concentration d'un polluant considéré dans l'atmosphère a été présentée ainsi que les différents champs et paramètres du modèle. Les conditions initiale et aux limites, la paramétrisation du coefficient de diffusion, les dépôts et la cinétique chimique des polluants sont également présentés. Nous avons réalisé des simulations numériques sur un certain nombre de configurations et les résultats illustrant la dynamique d'un polluant choisi, en l'occurrence le monoxyde de carbone (CO), sont rapportés. Une des principales difficultés rencontrées au cours de ce travail a été l'accès aux données météorologiques. Les données fournies par le service météorologique malien (Mali Météo) ne sont pas en quantité suffisante pour être utilisées comme entrées de notre modèle, puisqu'elles sont simplement obtenues par des levés en seulement quelques points sur le territoire du Mali afin d'avoir une approximation du profil du vent. L'utilisation des données de vent provenant de certains modèles météorologiques mondiaux, régionaux ou sous-régionaux, comme ceux fournis par le Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMMT), a été étudiée. Malheureusement, ces données ne peuvent pas être utilisées en l'état dans ce cadre car elles sont généralement de résolution trop grossière pour une modélisation de la pollution atmosphérique à l'échelle locale. L'approche alternative que nous allons explorer pour la suite de ce travail consiste à calculer la vitesse du vent comme solution des équations de Navier-Stokes incompressibles. Ce modèle de Navier-Stokes sera couplé (dans un seul sens) avec notre modèle actuel afin de réaliser des simulations de longue durée et plus proches des réalités de l'environnement.

Remerciements

Ce travail a été soutenu par le Rectorat de l'Université des Sciences, des Techniques et des Tech-

nologies de Bamako (USTTB) à travers un financement sur projet. Les auteurs tiennent également à remercier le Centre pour la Modélisation et Simulation de Bamako pour avoir soutenu ce travail en fournissant un soutien scientifique et un accès aux ressources de calcul sur son cluster hébergé à la Faculté des Sciences et Techniques (FST) de la dite Université.

Références

- [1] K. Mamadou, Typologie urbaine et accessibilité géographique potentielle des établissements de santé dits modernes dans le district de bamako (mali) (2018). doi:<https://journals.openedition.org/eps/7707>.
- [2] B. Mondiale, Profil environnemental des villes de bamako, gao, mopti et sikasso, numéro du Rapport : 60788-ML (2011).
- [3] PNUD-PNUE-sba, évaluation économique de la gestion environnementale au mali : Coûts et bénéfices, rapport final (2008).
- [4] www.maliweb.net, L'environnement au mali, des poisons dans l'air !, <https://www.maliweb.net/environnement/lenvironnement-mali-poisons-lair-1586382.html>, article de Presse (2016).
- [5] www.essor.ml, Bamako : Pourquoi la pollution de l'air s'aggrave, http://malijet.com/a_la_une_du_mali/22227-bamako_pourquoi_la_pollution.html, article de Presse (2010).
- [6] maliactu.net, Mali : Sur la qualité de l'air : Le district parmi les capitales polluées, <https://www.maliweb.net/environnement/sur-la-qualite-de-lair-le-district-parmi-les-capitales-polluees-764712.html>, article de Presse (2015).
- [7] B. Sportisse, A review of parameterizations for modeling dry deposition and scavenging of radionuclides, *Atmospheric Environment* 41 (13) (2007) 2683–2698.
- [8] M. Z. Jacobson, *Fundamentals of atmospheric modeling*, Cambridge university press, 2005.
- [9] J. H. Seinfeld, S. N. Pandis, *Atmospheric chemistry and physics : from air pollution to climate change*, John Wiley & Sons, 2016.
- [10] V. Mallet, B. Sportisse, Air quality modeling : From deterministic to stochastic approaches, *Computers & Mathematics with Applications* 55 (10) (2008) 2329–2337.
- [11] B. Sportisse, *Fundamentals in air pollution : from processes to modelling*, Springer Science & Business Media, 2009.
- [12] K. Youngseob, Modélisation de la qualité de l'air : Évaluation des paramétrisations chimiques et météorologiques, Ph.D. thesis, Citeseer (2011).
- [13] B. Sportisse, A review of current issues in air pollution modeling and simulation, *Computational Geosciences* 11 (2) (2007) 159–181.
- [14] M. Neophytou, D. Goussis, M. Van Loon, E. Mastorakos, Reduced chemical mechanisms for atmospheric pollution using computational singular perturbation analysis, *Atmospheric Environment* 38 (22) (2004) 3661–3673.
- [15] QGIS Development Team, *QGIS Geographic Information System*, Open Source Geospatial Foundation (2009). URL <http://qgis.osgeo.org>
- [16] C. Geuzaine, J.-F. Remacle, Gmsh : A 3-d finite element mesh generator with built-in pre-and post-processing facilities, *International Journal for Numerical Methods in Engineering* 79 (11) (2009) 1309–1331.
- [17] P. A. Lopez, M. Behrisch, L. Bieker-Walz, J. Erdmann, Y.-P. Flötteröd, R. Hilbrich, L. Lücken, J. Rummel, P. Wagner, E. WieBner, Microscopic traffic simulation using sumo, in : 2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), IEEE, 2018, pp. 2575–2582. doi:[10.1109/ITSC.2018.8569938](https://doi.org/10.1109/ITSC.2018.8569938).

Modélisation appliquée à l'épidémiologie du Covid-19 au Mali

Mahamadou ALASSANE
alassanemaiga@yahoo.fr

¹ Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, BPE 423, Bamako, Mali.

Résumé

Dans ce travail, nous proposons un modèle mathématique pour prévoir la propagation de la maladie à coronavirus (Covid-19) au Mali. Les données réelles du nombre de cas confirmés sur 30 jours sont utilisés pour caler le modèle au contexte malien. Les résultats ont montré que d'une part le pic de l'épidémie peut être atteint au 184^{ème} jour avec en moyenne 4 millions d'infectés si les mesures barrières ne sont pas rigoureusement appliquées. Mais d'autre part qu'on peut contrôler la maladie en respectant les mesures barrières, en faisant des dépistages massifs ou en combinant les deux.

Mots clés : modélisation, Covid-19, Nombre de reproduction de base R_0 , Pic et taille de l'épidémie, Simulations numériques.

1. Introduction

La maladie Covid-19, apparue en chine fin 2019, est causée par le SARS-Cov-2, un virus qui appartient à la famille des coronavirus. A l'origine d'épidémies mortelles, ils peuvent aussi bien provoquer un simple rhume qu'une grave infection respiratoire de type pneumonie. Elle a officiellement été déclarée comme pandémie le 11 mars 2020 par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Le 18 Mars 2020, le gouvernement du Mali avait annoncé les mesures suivantes avec effet immédiat pendant qu'aucun cas n'était encore enregistré :

La suspension jusqu'à nouvel ordre des vols commerciaux en provenance des pays touchés, à l'exception des vols cargos.

La fermeture des écoles publiques, privées et confessionnelles (maternelles, primaires, secondaires et supérieures), y compris les medersas.

La suspension jusqu'à nouvel ordre de tous les regroupements publics, y compris les ateliers, colloques, séminaires et réunions populaires.

Ces mesures ont été renforcées le 25 mars par un état d'urgence sanitaire et un couvre-feu

de 21h à 5h du matin entrés en vigueur le 26 mars 2020. Au Mali, les premiers cas (deux) ont été détectés le 25 Mars 2020, depuis l'incidence (nombre de nouveaux cas par jour) est strictement positive. Les données d'incidence dans la FIGURE 1 ne sont pas estimées mais proviennent du Ministère de la santé et des affaires sociales du Mali.



FIGURE 1.1 : Nombre de nouveaux cas du COVID19 du 25 Mars au 24 Avril 2020.

Plusieurs modèles mathématiques sont disponibles pour modéliser la propagation d'une maladie infectieuse dans une communauté. On peut citer entre autre le modèle logistique, ex-

ponentiel ou encore le SIR pour (Susceptibles-Infectés-Rétablis). Le modèle mathématique déterministe décrit ci-dessous est plus détaillé que le modèle classique (SIR) mais il reste très simple quant à sa structure.

La modélisation de la transmission et de la diffusion d'une maladie permet de concevoir des outils de prévision épidémiologique et d'alertes précoces contribuant ainsi à l'optimisation des stratégies de prévention et de contrôle. Leur intérêt réside dans leur capacité à étudier des scénarios hypothétiques et à fournir aux décideurs des éléments permettant d'anticiper les conséquences de l'incursion d'une maladie et l'impact des stratégies d'intervention.

2. Le modèle SLIHR

2.1. Élaboration du modèle

La propagation d'agent infectieux comme le Covid-19 est un phénomène dynamique où le nombre d'individus susceptibles, latents, infectieux, retirés évoluent en fonction du temps et des contacts entre personnes susceptibles et infectés. Ce phénomène peut être modélisé par des modèles mathématiques. Ces modèles sont une approximation de la réalité, ils présentent certes des incertitudes mais on montrés leur efficacité dans la prédiction des épidémies comme la grippe, Ebola et bien d'autres. Ces modèles sont généralement utilisés comme outils de prise de décision. Dans ce travail nous allons utiliser cet outil pour avoir une idée de l'évolution des personnes qui sont testées positives au Covid-19 au Mali. L'un des modèles de base généralement utilisé dans la littérature pour prédire la propagation d'une épidémie dans une population donnée est le modèle SIR. IL a été présenté pour la première fois par KERMACK et McKENDRICK à Londres et Cambridge en 1927 pour expliquer à posteriori l'évolution de l'épidémie de peste à Bombay en 1905-1906. Nous avons tenter d'améliorer et adapter ce modèle de base SIR à notre étude afin qu'il correspond mieux à la réalité. En effet, de nombreux paramètres rentrent en jeu lors de la propagation d'un agent infectieux et ne sont pas pris en compte dans le modèle de base. Nous avons donc modifié ce modèle en ra-

joutant deux nouvelles sous-populations donc deux nouveaux paramètres.

Ainsi dans le modèle que nous considérons, un individu de la population N pourra être susceptible S , latent L , infectieux actif I , infectieux détecté H et retiré (guéri, mort ou transféré) R .

Un individu susceptible (S) qui est infecté passe par un stade où il est infecté mais non infectieux : il est latent (L). Ensuite il devient infectieux actif (I). Ce stade semble particulièrement important dans la propagation du Covid-19 au Mali. Puis il passe au stade d'infectieux détecté (H). Enfin, l'infection finit et l'individu est alors retiré (R). La population constante totale au cours du temps t notée par N est donnée par :

$$N = S(t) + L(t) + I(t) + H(t) + R(t).$$

Ce cycle de vie peut être représenté à l'aide du diagramme de flux suivant :

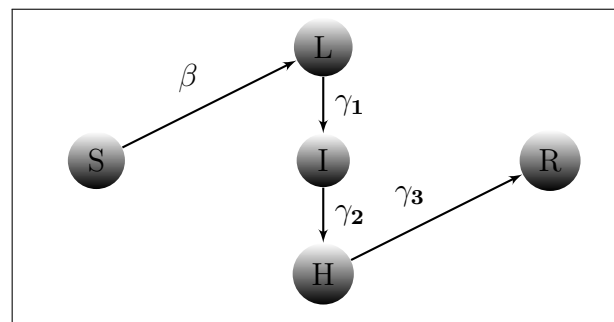


FIGURE 2.1 : Représentation compartimentale du modèle de transmissions directe du Covid-19 au Mali.

Le modèle est basé sur les hypothèses suivantes :

Le COVID-19 est une maladie respiratoire à transmission directe (d'une personne à une autre) et indirecte (par des virus présents dans l'environnement suite au passage d'autres personnes). Cette dernière voie de transmission est ici négligée.

Au cours de l'épidémie, on admet que l'on ne sort pas du compartiment R une fois qu'on y rentre. Ce qui est correct pour le Covid-19 si l'on étudie l'épidémie dans les quelques semaines ou mois à venir (au delà perte d'immunité) d'après les informations relayées sur internet.

Les infectieux détectés du compartiment H sont isolés et pris en charge par des structures appropriées donc ne peuvent plus continuer à propager l'infection au sein de la population.

Nous définissons la force d'infection des infectieux actifs du compartiments I aux susceptibles S à tout instant t, comme suit :

$$K(t) = \beta \frac{I(t)}{N(t)} \quad (2.1)$$

où β représente le taux d'infection c'est à dire le taux de probabilité de transmission du virus et le nombre de contacts entre un sujet infecté et des personnes susceptibles de l'être.

En faisant un bilan de masse à travers les compartiments, nous écrivons les équations décrivant la transmission directe du Covid-19 dans la population sous la forme :

$$\frac{dS}{dt} = -KS \quad (2.2)$$

$$\frac{dL}{dt} = KS - \gamma_1 L \quad (2.3)$$

$$\frac{dI}{dt} = \gamma_1 L - \gamma_2 I \quad (2.4)$$

$$\frac{dH}{dt} = \gamma_2 I - \gamma_3 H \quad (2.5)$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma_3 H \quad (2.6)$$

Le système d'équations différentielles (2.2)-(2.6) est muni des conditions initiales $S(0)$, $L(0)$, $I(0)$, $H(0)$, $R(0)$ telles que :

$$\begin{cases} S(0) \geq 0, L(0) \geq 0, I(0) \geq 0, H(0) \geq 0, R(0) \geq 0 \\ \text{et} \\ S(0) + L(0) + I(0) + H(0) = N. \end{cases}$$

Nous supposons que les conditions initiales du modèle décrit par le système d'équations différentielles (2.2)-(2.6) appartiennent à Ω où

$$\Omega = \left\{ (S, L, I, H, R) \in [0, N]^5 \mid \begin{aligned} &S + L + I + H + R = N \end{aligned} \right\}$$

2.2. Interprétation des équations

Les dérivées $\frac{d}{dt}$ permettent de connaître la variation (c'est à dire si c'est croissant

ou décroissant) des fonctions S, L, I, H et R en fonction du temps t, afin d'en décrire l'évolution au cours du temps.

(2.2) : On a un signe «-» car avec le temps ce groupe se réduit. En effet l'épidémie a déjà touché un certain nombre de personnes. La valeur est proportionnelle à la force d'infection K, au nombre de susceptibles S d'être infectés.

(2.3) : Cette équation décrit l'accroissement du nombre de latents au fil du temps. On a la somme du nombre précédent KS avec le signe «+» pour signifier que le nombre de latents croît avec le temps et le second terme $-\gamma_1 L$, négatif, qui signifie qu'un nombre de latents devient infectieux. Donc γ_1 représente le taux de fin de latence.

(2.4) : Représente l'accroissement du nombre d'infectés au fil du temps. On a la somme du nombre de nouveaux infectieux $\gamma_1 L$ avec le signe «+» et le second terme $-\gamma_2 I$, négatif, qui signifie qu'un nombre d'infectieux est isolé. Donc γ_2 représente le taux d'isolement.

(2.5) : Dans cette équation, on a la somme des nouveaux infectieux testés positifs représentés par le nombre $\gamma_2 I$ avec le signe «+» et le second terme $-\gamma_3 H$, qui signifie qu'un nombre d'infectieux testés positifs est retiré. Donc γ_3 représente le taux de retrait.

(2.6) : Un seul terme positif $\gamma_3 H$ qui représente bien l'accroissement du nombre de retirés.

3. Taille totale de l'épidémie

3.1. Estimation des paramètres par ajustement

Nous menons notre étude sur la population du Mali estimée à $N=20243609$ (2020) selon le site¹. Et afin de simuler l'évolution de l'infection du covid-19 dans cette population, une bonne connaissance des paramètres biologiques à savoir β , γ_1 , γ_2 et γ_3 qui interviennent dans le modèle SLIHR est nécessaire. Or ces derniers ne sont pas bien connus dans le contexte particulier malien.

1. https://fr.wikipedia.org/wiki/Démographie_du_Mali

Ainsi afin de calibrer notre modèle sur l'évolution du Covid-19 au Mali, nous utiliserons la méthode de l'ajustement des paramètres par optimisation. Elle consiste à comparer les données réelles avec un modèle théorique afin de pouvoir définir le modèle théorique le plus proche de la réalité observée. Pour cela on définit une distance entre deux courbes et on essaye de minimiser cette distance en faisant varier les paramètres du modèle théorique. Cette opération est facilitée par excel qui permet de minimiser une fonction grâce à son solveur. Nous l'utiliserons pour minimiser la somme du carré de la différence entre chaque point du modèle théorique et expérimental. Comme modèle expérimental nous utilisons les données des 30 premiers jour de l'infection au Mali résumées dans la Table 3.1 à savoir du 25-03-2020 au 23-04-2020. Par rapport à la condition initiale ($S(t=0)$, $L(t=0)$, $I(t=0)$, $H(t=0)$, $R(t=0)$), nous considérons $H(t=0)=2$ correspondant au deux premiers cas testés à Bamako le 25-23-2020. A cette date il n'y avait pas encore de cas de retiré donc $R(t=0)=0$. Les cas de latents $L(t=0)$ et infectieux $I(t=0)$ étaient inconnues. La même méthode est utilisée pour les estimer. Le nombre de susceptibles $S(t=0)=N-L(t=0)-I(t=0)-H(t=0)-R(t=0)$.

Jour	Confirmés	Retirés	Positifs
1	2	0	2
2	4	1	3
3	11	1	10
4	18	1	17
5	20	2	18
6	25	2	23
7	28	3	25
8	31	3	28
9	36	3	33
10	39	3	36
11	41	3	38
12	45	3	42
13	47	6	41
14	56	14	42
15	59	18	41
16	74	23	51
17	87	29	58
18	105	29	76
19	116	31	85

Jour	Confirmés	Retirés	Positifs
20	123	36	87
21	144	47	97
22	148	47	101
23	171	47	124
24	190	47	143
25	218	54	164
26	224	59	219
27	246	78	168
28	258	79	179
29	293	98	195
30	309	98	211

TABLE 3.1 : Source : Ministère de la santé et des affaires sociales du Mali.

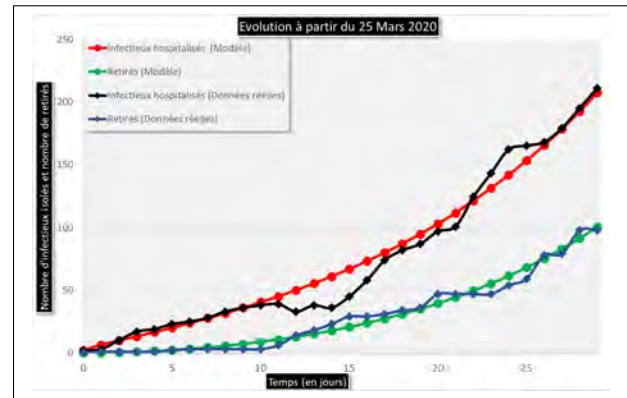


FIGURE 3.1 : Methode d'ajustement des paramètres de β , γ_1 , γ_2 , γ_3 et $L(t=0)$, $I(t=0)$ par optimisation.

Les résultats de l'ajustement des paramètres par optimisation sont représentés sur la FIGURE 3.1. D'une part sont représentées les courbes représentatives (**modèle (en rouge) et données réelles (en noir)**) des infectieux hospitalisés. D'autre part les courbes représentatives (**modèle (en vert) et données réelles (en bleu)**) des retirés. Les valeurs estimées des paramètres biologiques de notre modèle sont résumés dans la TABLE 3.2

3.2. Taux de reproduction de base

Lors d'une épidémie, un paramètre fondamental à mesurer est le taux de reproduction de base, noté R_0 , défini par le nombre moyen d'individus qu'une personne infectée pourra infecter pendant qu'elle est contagieuse. Si $R_0 >$

Par.	Description	Valeur
β	Taux de transmission	0.3965
γ_1	Taux de fin de latence	0.522871
γ_2	Taux d'hospitalisation	0.2729
γ_3	Taux de retrait	0.05

TABLE 3.2 : Liste des paramètres du modèle

1, la maladie pourra se propager, tandis que si $R_0 < 1$, la maladie aura tendance à disparaître. La matrice jacobienne associée au système d'équations différentielles (2.3)-(2.5) évaluée à équilibre sans infection (S_e, L_e, I_e, H_e, R_e) = (N, 0,0,0,0) du modèle (2.2)-(2.6) est :

$$J = \begin{pmatrix} -\gamma_1 & \beta & 0 \\ \gamma_1 & -\gamma_2 & 0 \\ 0 & \gamma_2 & -\gamma_3 \end{pmatrix}$$

Le théorème de Next Generation permet de calculer le taux de reproduction de base. Pour l'appliquer, on décompose la matrice Jacobienne J en une matrice dite des naissances F et une matrice des morts V telle que $J = F - V$.

Ici, nous définissons :

$$F = \begin{pmatrix} 0 & \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad V = \begin{pmatrix} \gamma_1 & 0 & 0 \\ -\gamma_1 & \gamma_2 & 0 \\ 0 & -\gamma_2 & \gamma_3 \end{pmatrix}$$

La matrice de la nouvelle génération est définie par :

$$F V^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{\beta}{\gamma_2} & \frac{\beta}{\gamma_2} & 0 \\ \gamma_2 & \gamma_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Si le module de la valeur propre dominante de $F V^{-1}$ est plus grande que 1, alors l'équilibre sans infection est instable. Cette valeur propre dominante correspond à R_0 .

$$R_0 = \rho(F V^{-1}) = \frac{\beta}{\gamma_2}$$

Avec cette expression, on voit qu'il y a deux moyens de baisser le R_0 (et donc de contrôler) l'épidémie. On peut par exemple diminuer le taux de transmission β (en confinant la population, diminuant les contacts et en portant des masques). On peut aussi augmenter le taux

d'hospitalisation γ_2 du modèle en faisant beaucoup de tests isolant ainsi les personnes symptomatiques (du point de vue du virus, une personne qui n'a plus de contacts équivaut à une guérison, puisqu'elle ne transmet plus le virus).

Par rapport à nos paramètres

$$R_0 = \frac{\beta}{\gamma_2} = \frac{0.3965}{0.2729} = 1.45$$

3.3. Taille totale de l'épidémie

Soit τ la probabilité avec laquelle un individu infecté infectera chaque susceptible. Au début de l'épidémie le premier infecté a autour de lui $S_0 = N - 1$ individus susceptibles. R_0 étant le nombre moyen d'infectés qu'il aurait occasionné, alors $\tau = \frac{R_0}{N-1} \approx \frac{R_0}{N}$ pour N assez grand. En désignant par P, la proportion de la population totale qui sera touchée par l'épidémie, alors PN est le nombre total d'individus qui sera infecté ou taille totale de l'épidémie.

Proposition 1.

Si les mesures barrières ne sont pas rigoureusement appliquées, 55% de la population totale N seront infectés au Mali, soit environ 11 millions d'individus .

Preuve 1.

En effet si P est la proportion de la population qui sera infectée, alors 1-P est la proportion de la population qui ne sera pas infectée; c'est aussi pour chaque individu, la probabilité de ne pas être infecté.

Or la probabilité de ne pas être infecté pour un individu d'ici la fin de l'épidémie, c'est la probabilité d'échapper à l'infection des PN infectés qui est $(1 - \tau)^{PN}$. Ainsi

$$1 - P = (1 - \tau)^{PN} = \left(1 - \frac{R_0}{N}\right)^{PN} \approx \exp(-R_0 P)$$

La proportion P de la population totale N, qui contactera l'infection est donc solution de l'équation non linéaire :

$$1 - P = \exp(-R_0 P).$$

Ce qui nous donne P=55% de la population N, soit environ 11 millions d'individus infectés à la fin de l'épidémie.

4. Simulations numériques

Dans toutes les simulations numériques les courbes ont été ajustées d'abord aux données réelles afin de fixer le bon taux de propagation de l'épidémie. Ce taux de propagation est fixé ici à partir des 30 premiers jours de l'épidémie et puis ensuite on fait évoluer ces courbes au cours du temps.

4.1. Prédiction et pic

Sur la FIGURE 4.1 sont représentées les courbes représentatives des susceptibles (en bleu), de l'ensemble des infectés (latens, infectieux actifs, infectieux hospitalisés) ici (en rouge) et des retirés (en vert).

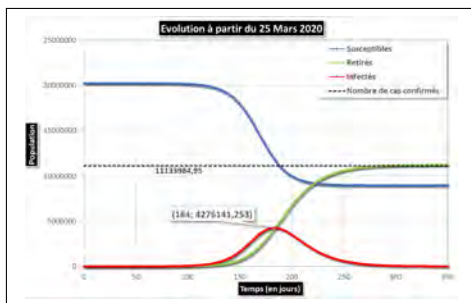


FIGURE 4.1 : Pic de l'épidémie et prédiction.

Sur la FIGURE 4.1, on voit que le pic épidémique est prévu le 184ème jour avec en moyenne 4 millions d'infectés en supposant que le taux de reproduction de base R_0 est constant c'est-à-dire que les mesures barrières ne sont pas rigoureusement appliquées.

Enfin, on voit comme indiqué précédemment dans le calcul de R_0 que l'épidémie s'arrête une fois les 55% de la population (matérialisés par la ligne en pointillés noirs) atteints.

4.2. Courbes épidémiques

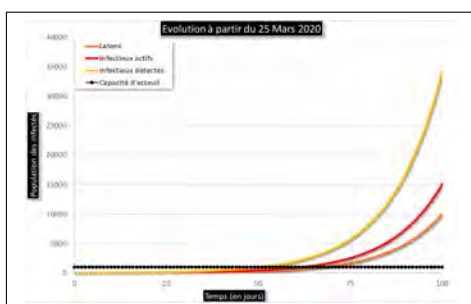


FIGURE 4.2 : Évolution des courbes épidémiques.

Sur la FIGURE 4.2 chaque couleur correspond à une des catégories des infectés. Et A moins qu'il y ait des changements de comportements ou des mesures plus strictes pour baisser R_0 , sinon on voit l'épidémie croître exponentiellement en fonction du temps. On remarque également sur la figure que la majorité des hôtes sont dans le compartiment H, ceci s'explique par le fait que c'est la-bas qu'on reste le plus longtemps d'après le modèle. Enfin, on constate aussi que la proportion des infectieux hospitalisés (en jaune) dépasse rapidement la capacité d'accueil de nos hôpitaux estimée ici à 1000 et représentée par le trait en pointillés noirs.

4.3. Courbe épidémique avec des scenarios de contrôle moyen et fort persistants

Nous avons modélisé ici l'implémentation d'une politique de santé publique avec différents scénarios visant à contrôler l'épidémie. Elle passe par faire réduire le taux de reproduction de base R_0 de sa valeur β/γ_2 à une valeur $\beta'/\gamma'_2 = (1-p)\beta/(1+q)\gamma_2$ où p est la proportion du taux de transmission β (resp. q est la proportion du taux de détection γ_2) diminuée (resp. augmentée) par des politiques de santé publique.

On passe de β à β' en augmentant p par des mesures comme la distanciation sociale, le confinement, le port de masques ou la fermeture de certains lieux. De γ_2 à γ'_2 en augmentant q par un dépistage massif.

Nous avons fait débiter cette politique au 45ème jour de l'épidémie.

4.3.1. Scénarios de contrôle moyen persistant

Cette approche consiste à freiner la croissance de l'épidémie, sans toutefois la stopper c'est à-dire diminuer la valeur de R_0 sans la ramener en dessous de 1. Cette diminution passe par l'augmentation de p ou de q .

Sur la FIGURE 4.3.1 est représenté la courbe épidémique dans les différents scenarios :

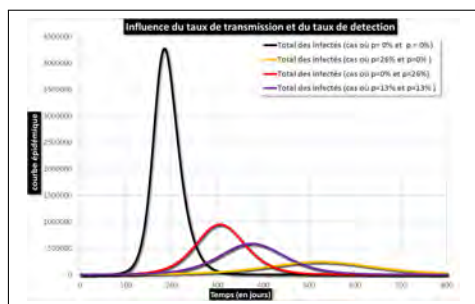


FIGURE 4.3 : Scenarios de stratégie de contrôle moyen persistant

Scénario 0 (courbe noire) : on ne modifie ni le taux de transmission ($p = 0\%$) ni le taux de détection ($q = 0\%$).

Scénario 1 (courbe jaune) : on diminue le taux de transmission ($p = 26\%$) sans modifier le taux de détection ($q = 0\%$).

Scénario 2 (courbe rouge) : On augmente le taux de détection ($p = 26\%$) sans modifier le taux de transmission ($q = 0\%$).

Scénario 3 (courbe violette) : on diminue le taux de transmission ($p = 13\%$) et on augmente le taux de détection ($q = 13\%$) en violet.

Comme on peut le voir, cette stratégie n'empêche pas la propagation de l'épidémie. Mais le pic de la courbe est moins haut et il se produit beaucoup plus tard (**Scénarios 1, 2 et 3**). La courbe quand à elle est plus étalée dans le temps. De même la proportion totale de la population infectée devient plus faible par rapport au cas du **Scénario 0**.

Cette politique de santé publique permet d'aplatir la courbe épidémique afin de permettre au système de santé d'absorber l'afflux d'infectés sur une période un peu plus long.

Par rapport à l'efficacité des différents scénarios de la stratégie, on remarque que dans le **Scénario 1**, la courbe est beaucoup plus plate (13% de la population totale infectée) que le **Scénario 3** (30% de la population totale infectée). Le **Scénario 2** est celui dans le quel le pic de la courbe est le plus haut (25% de la population totale infectée) en dehors du **Scénario 0**. En conclusion le **Scénario 1** semble être le plus efficace.

4.3.2. Scénarios de contrôle fort persistant

Cette politique consiste à stopper l'épidémie, c'est-à-dire à baisser R_0 en dessous de 1.

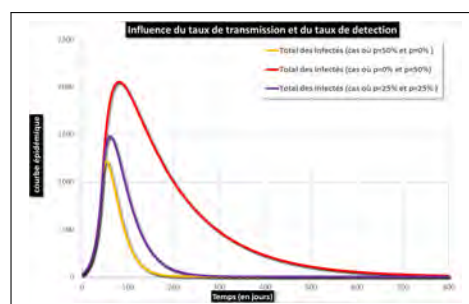


FIGURE 4.4 : Évolution des courbes épidémiques.

Sur la FIGURE 4.3.2 est représentée la courbe épidémique dans les différents scénarios :

Scénario 1 (courbe jaune) : on diminue le taux de transmission ($p = 50\%$) sans modifier le taux de détection ($q = 0\%$).

Scénario 2 (courbe rouge) : On augmente le taux de détection ($p = 50\%$) sans modifier le taux de transmission ($q = 0\%$).

Scénario 3 (courbe violette) : on diminue le taux de transmission ($p = 25\%$) et on augmente le taux de détection ($q = 25\%$) en violet.

Comme attendu, l'épidémie est bien supprimée de la population. Le **scénario 1** reste le plus efficace.

4.4. Courbes épidémiques avec contrôle fort mais de durée limitée

Nous avons appliqué ici le **Scénario 1** de la sous-section 3.3.2, qui semble être le plus efficace. Nous l'avons fait débuter le 45^{ème} jour pour une durée de 45 jours. Comme attendu, l'épidémie est bien supprimée pendant la période de la stratégie comme on peut le voir sur la FIGURE 4.3.2. Malheureusement, une fois que les mesures prises sont levées, l'épidémie repart très fortement.

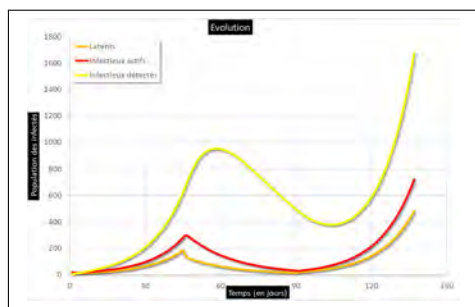


FIGURE 4.5 : Évolution des courbes épidémiques.

Sur la FIGURE 4.3.2 est représentée la courbe épidémique dans les différents scénarios :

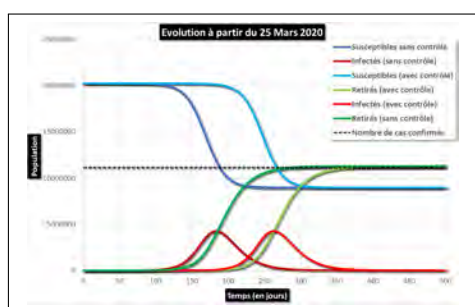


FIGURE 4.6 : Évolution des courbes épidémiques.

Au final, la politique a abouti à décaler le pic épidémique par rapport au cas sans contrôle (FIGURE 4.4). Toutefois, le nombre total de cas confirmés reste identique.

5. Conclusions et perspectives

Le présent travail nous a permis d'avoir une idée sur l'évolution du Covid-19 au Mali et d'en tirer un certain nombre de conclusions qui sont entre autres :

si les mesures barrières ne sont pas appliquées, le pic épidémique sera atteint vers le 184^{ème} jour avec en moyenne 4 millions d'infectés. Ainsi jusqu'à la fin de l'épidémie, le nombre total d'infectés sera autour de 11 millions d'individus et la proportion des infectieux détectés va dépasser très rapidement la capacité d'accueil de nos structures sanitaires.

si elles sont moyennement appliquées, la proportion totale de la population infectée sera plus faible, la courbe épidémique s'aplatira afin de permettre au système de

santé d'absorber l'afflux d'infectés sur une période un peu plus longue .

Enfin si les mesures barrières sont rigoureusement appliquées, l'épidémie sera stoppé et disparaîtra de la population dans un bref délai.

Si les mesures barrières sont rigoureusement appliquées pendant un temps et qu'elles sont levées avant que la maladie ne disparaisse totalement de la population, l'épidémie repartira très rapidement. Le pic épidémique sera décalé, toutefois, la proportion totale de la population infectée sera la même que lorsque les mesures ne sont pas rigoureusement appliquées.

Comme perspectives, il faut noter que ce modèle, malgré le fait qu'il nous a permis d'étudier l'impact des mesures barrières sur l'évolution de la maladie à coronavirus (Covid-19), il est très simple dans sa structure. Nous verrons dans la suite du travail comment le modifier pour prendre en compte certaines spécificités de l'épidémie comme la transmission indirecte qui joue un rôle important dans la propagation. Certains paramètres supplémentaires tels que l'âge des personnes (la mortalité de l'infection COVID-19 augmente avec l'âge), la comorbidité (un facteur aggravant pour les malades du Covid-19), la démographie de la population seront ajoutés au modèle.

Références

- [1] W.O. Kermack ; A.G. McKendrick, Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Vol. 115, (1927), pp. 700-721
- [2] H.K. Khalil. Nonlinear Systems. Pearson Education. Prentice Hall, 2002.
- [3] J-P. Gabriel ; F. Saucy ; L-F. Bersier Paradoxes in the logistic equation. Ecological Modelling 185, 147-151, 2005.
- [4] Y.Kuang ,Delay Defferential Equation With Application in population Dynamics, Academic Press ,NewYork ,1993,pp.67-70.
- [5] F.Brauer, C. Castillo-Chavez, Mathematical Models in Population Biology and Epidemiology, Springer, New York, 2000.
- [6] L. Pellis, F. Balle and P. Trapman, Reproduction numbers for epidemic models with households and other structures., Mathematical Biosciences, 13 (2012)