



Bamako, 31 juillet - 05 août

2016

ACTES DE LA CONFERENCE

Les Universités Africaines
Face aux Défis du Millénaire
Pour le Développement Durable

African Universities Facing the
Millennium Sustainable
Development Challenge

NEUVIEME SYMPOSIUM
MALIEN SUR LES
SCIENCES APPLIQUEES



Carisme & Bénévolat
mAliWatch

AGENCE
UNIVERSITAIRE
DE LA FRANCOPHONIE

<http://www.msas2016.ml>

COMITE LOCAL D'ORGANISATION

Adama TRAORE

Président d'honneur MSAS, Bamako

Oumar BALLO

Bamako

Ali BONKANO

Sikasso

Fatoumata CAMARA

Bamako

Hawa CAMARA

Bamako

Massaman CAMARA

Bamako

Adama DEMBÉLÉ

Bamako

Sabaké DIARRA

Bamako

Seydou HOUSSOUBA

Bamako

Amadou KONÉ

USTTB, Bamako

Mamadou KONÉ

Bamako

Bakary SAKHO

Sakho BECI, Bamako

Aboubacar SAMAKÉ

Bamako

Aboubacar SANGARÉ

Bamako

Mohamed SANGARÉ

Bamako

Fad SEYDOU

MSAS, Bamako

Abdoulaye SIDIBÉ

IPR, Katibougou

Mody SOW

Bamako

COMITÉ INTERNATIONAL D'ORGANISATION

Diola BAGAYOKO

Southern University, Baton Rouge LA, USA

Jim BARRY

Los Angeles CA, USA

Mamadou DAKOUO

Université de Montréal, Canada

Doulaye DEMBELE

CNRS-IGBMC, Strasbourg, France

Abdoulaye DOUCOURE

Hollingsworth & Vose – Floyd, Virginia, USA

Mamadou Lamine DOUMBIA

Université du Québec à Trois-Rivières, Canada

Aliou HAIDARA

African Initiatives for Relief & Development, Tchad

Mohomodou HOUSSOUBA

Université de Bâle, Suisse

Fatoumata Bintou KEITA

Toronto, Canada

Assoumane MAIGA

Stillwater OK, USA

Boubacar I. MAIGA

Motorola, Berlin, Allemagne

Harouna MAIGA

Crookston MN, USA

Mahamadou SEYDOU

Université Paris Diderot, France

Aissata SOW THIAM

Washington DC, USA

COMITES D'ORGANISATION DES MINI-SYMPOSIA ET WORKSHOPS

Mini Symposium : Eau et environnement

Sidy BA

*A'Sharqiyah University
Ibra, Sultanate of Oman*

Abdoulaye DOUCOURÉ

Hollingsworth & Vose, Floyd, Virginia, USA

Courfia DIAWARA

Université de Ziguinchor, Casamance, Sénégal

Adama TOLOFOUDYE

Faculté des sciences et techniques, Université de Bamako, Mali

Mini Symposium : Cancers : prévention, prévalence et prise en charge

Mamadou DAKOUO

Université de Montréal, Canada

Abdoulaye DOUCOURÉ

Hollingsworth & Vose, Floyd, Virginia, USA

Madani LY

CHU le Luxembourg, Bamako, Mali

Aissata Sow THIAM

Washington, DC, USA

Mini Symposium : Énergies renouvelables et applications

Kodjo AGBOSSOU

Université du Québec à Trois-Rivières, Canada

Arona COULIBALY

Ecole Nationale d'Ingénieurs-Abderhamane Baba Touré, Mali

Mamadou Lamine DOUMBIA

Université du Québec à Trois-Rivières, Canada

Napo KOSSI

Université de Lomé, Togo

Alhousseini MAÏGA

CNSOLER, Mali

Amadou Seydou MAIGA

Université Gaston Berger, Sénégal

Papa Alioune NDIAYE

École Supérieure Polytechnique, UCAD, Sénégal

Mini-symposium : Agriculture

Harouna MAIGA

University of Minnesota, Crookston, USA

Abdoulaye SIDIBE

Institut polytechnique rural de Katibougou, Mali

Mini-symposium : Politiques éducatives, diffusion du savoir, climat scolaire

Moriké DEMBÉLÉ

Université de Bamako, Mali

Labass Lamine DIALLO

Université de Bamako, Mali

Idrissa Soïba TRAORE

Université de Bamako, Mali

Workshop : Modélisation et simulation en sciences : méthodes et applications

Boubakar DIAWARA

*Institut de Recherche de Chimie Paris
Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Paris, France*

Mahamadou SEYDOU

Université Paris Diderot, Sorbonne, Paris, France

Workshop : Langues et numérique

Mohomodou HOUSSOUBA

Université de Bâle, Bâle, Suisse

Mamadou Lamine SANOGO

Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique, Ouagadougou, Burkina Faso

Ibrahima SARR

Le Havre, France

Workshop : Atelier d'éducation numérique par le « Physical Computing » avec le RASPBERRY PI

Mohomodou HOUSSOUBA

Université de Bâle, Bâle, Suisse

Ibrahima SARR

Le Havre, France

Mini-symposium : Santé publique et pharmacopée traditionnelle

Rokia SANOGO

Institut National de Recherche en Santé Publique, Bamako, Mali

Nah TRAORÉ

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

Mini-symposium : Mathématiques-Physique-Chimie et Applications

Boubakar DIAWARA

*Institut de Recherche de Chimie Paris
Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Paris,
France*

Mahamadou SEYDOU

Université Paris Diderot, Sorbonne, Paris, France

Moussa TAMBOURA

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

Diola BAGAYOKO

*Southern et A & M College, Baton Rouge,
Louisiane, États-Unis*

CONFERENCES PLENIERES

« Réseaux du savoir et rôles des universités face aux défis du millénaire pour le développement durable »

Diola BAGAYOKO, *Southern University and A&M College, Baton Rouge, Louisiane, USA*

« Défi énergétique en Afrique: quelles solutions pour un développement économique durable? »

Mamadou Lamine DOUMBIA

Université du Québec à Trois-Rivières, Canada

« Impact of Community-Led Education on Knowledge of HPV, Cervical Cancer and Willingness to Participate in HPV Vaccination in Bamako, Mali »

Anne Searls DE GROOT

GAIA Vaccine Foundation, Providence, RI, USA and Bamako, Mali

EpiVax, Inc., Providence, RI, USA

Institute for Immunology and Informatics (iCubed), University of Rhode Island, Providence, RI, USA

« Pourquoi promouvoir l'innovation et le partenariat en matière de formation et de recherche dans les domaines de la qualité et du traitement de l'eau en Afrique ? »

Amadou Hama MAIGA

Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

« Existence d'équilibres de Nash pour les matches avec un très grand nombre de joueurs »

Wilfrid GANGBO

University of California at Los Angeles, USA

SPONSORS

Présidence de la République

Primature

Ministère de l'Enseignement
supérieur et de la Recherche
Scientifique

Ministère des Maliens de
l'Extérieur

Ministère de l'Energie et de
l'Eau

Initiative MaliWatch

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

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

Université des Lettres et
Sciences Humaines de
Bamako (ULSHB)

Université de Ségou

Faculté des Sciences et
Techniques de l'USTTB

Centre national des œuvres
universitaires (CENOU)

Programme TOKTEN

Comité national d'organisation
du Sommet Afrique France
(CNOSAF)

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

Agence universitaire de la
Francophonie (AUF)

Campus numérique de l'AUF
à Bamako

Entreprise BECI-SAKHO

Association KHEPERA

California Institute of
Technology (Caltech)

Société Africaine des
Membranes

Académie suisse des sciences
humaines et sociales (ASSH)

Société Européenne des
Membranes

TABLE DES MATIÈRES

COMITÉ LOCAL D'ORGANISATION	i
COMITÉ INTERNATIONAL D'ORGANISATION	i
COMITÉS D'ORGANISATION DES MINI-SYMPOSIA ET WORKSHOPS	ii
CONFÉRENCES PLÉNIÈRES	iii
SPONSORS	iv
AGRICULTURE	4
EFFET DE <i>VITELLARIA PARADOXA</i> SUR LA FERTILITÉ DU SOL ET LA PRODUCTIVITÉ DU <i>SORGHUM BICOLOR L. MOENCH</i> AVEC OU SANS <i>STYLOSANTHES HAMATA</i> DANS LES CONDITIONS DE L'IPR/IFRA KATIBOUGOU	5
CONTRIBUTION DU FUMIER BOVIN ET DU PHOSPHATE NATUREL DE TILEMSI À LA GESTION RATIONNELLE DE L'AZOTE DE L'URINE HUMAINE HYGIENISÉE EN COTON CULTURE DANS LES CONDITIONS ÉCOLOGIQUES DE L'IPR/IFRA DE KATIBOUGOU.....	10
EFFICACITÉ ÉCONOMIQUE DU TOURTEAU DE POURGHÈRE (<i>JATROPHA CURCAS</i>) EN QUALITÉ DE FERTILISANT POUR LE MAÏS (<i>ZEA MAYS</i>) DANS LA RÉGION DE KOULIKORO AU MALI.....	16
CROISSANCE DE <i>MORINGA OLEIFERA</i> LAM ET PRODUCTION DE POUDRE DE FEUILLES À L'IPR/IFRA DE KATIBOUGOU	21
TECHNOLOGIES POST RÉCOLTES ET QUALITÉS DU RIZ LOCAL AU MALI	28
ÉTUDE DE LA TENEUR ET DE LA BIO-DISPONIBILITÉ DE QUATRE OLIGO-ÉLÉMENTS ZINC, CUIVRE, MANGANÈSE ET FER DANS LES RIZIÈRES DE MOUGNA.....	34
ÉTUDE COMPARATIVE DE QUATRE MÉTHODES D'EXTRACTION DU PHOSPHORE DANS LES SOLS DE RIZIÈRE AU MALI ..	41
CONTRIBUTION À L'AMÉLIORATION DES REVENUS PAR LA PRODUCTION ET LA TRANSFORMATION DE LA PAPAYE DU VILLAGE TECHNOLOGIQUE À L'IPR/IFRA DE KATIBOUGOU	44
INFLUENCE DE LA TERRE DE FOURMILIÈRE SUR LE COMPORTEMENT DE LA TOMATE (<i>LYCOPERSICON ESCULENTUM</i>) EN ZONE SOUDANO SAHÉLIENNE (KOULIKORO-MALI)	57
CONSERVATION DES GRAINES DE QUINOA AU MOYEN DE DEUX BIOPESTICIDES : CAS DU <i>CASSIA NIGRICANS</i> ET D' <i>HYPTIS SPICIGERA</i> , DANS LES CONDITIONS DU LABORATOIRE DE BIOLOGIE DES ARTHROPODES ET DE LUTTE INTÉGRÉE DE L'IPR/IFRA DE KATIBOUGOU	62
ÉTUDE COMPARATIVE DES MODES DE PROTECTIONS CONVENTIONNELLE ET BIOLOGIQUE DU COTONNIER DANS LES CONDITIONS AGRO-PÉDO-CLIMATIQUES DE L'IPR/IFRA DE KATIBOUGOU	71
IMPACTS DE LA PRATIQUE DES TECHNIQUES CONVENTIONNELLES ET BIOLOGIQUES SUR L'ARTHROPODOFAUNE UTILE DU COTONNIER DANS LES CONDITIONS AGRO-ÉCOLOGIQUES EN ZONE SOUDANO-SAHÉLIENNE : CAS DE L'IPR/IFRA DE KATIBOUGOU AU MALI	84
EFFET DE L'ALIMENTATION IN OVO DES HYDRATES DE CARBONE ET DE L'ARGININE SUR LE TAUX D'ÉCLOSION CHEZ LE CANARD.....	93
BIOÉCOLOGIE DE L' <i>IMBRASIA</i> SP (LÉPIDOPTÈRES, SATURNIIDAE) EN STATION D'ÉLEVAGE	98
QUALITÉ MICROBIOLOGIQUE ET DIVERSITÉ DE LA FLORE BACTÉRIENNE DES ESPÈCES DE POISSON FRAIS D'EAU DOUCE DU MALI VENDUES AU MARCHÉ DE MÉDINA COURA	103
ALIMENTATION IN OVO DES EMBRYONS DE CANARDS AVEC LES HYDRATES DE CARBONE ET L'ARGININE SUR LA CROISSANCE POSTNATALE CHEZ LE CANARD	109
DIVERSITÉ DES PEUPELEMENTS PLANCTONIQUES DANS LES CASIERS RIZIPISCIQUES DE BAGUINÉDA AU MALI	114
IMPROVEMENT OF DIOSGENIN LEVEL IN THE TUBERS OF <i>D. COMPOSITA</i> BY METHYL DIHYDRO JASMONATE, THEPHON AND SALICILIC ACID TREATMENT	125
EFFETS DE DIFFÉRENTS PRÉ-TRAITEMENTS SUR LE TAUX DE GERMINATION DES GRAINES DE <i>CORCHORUS SOLITORUS</i>	129
INFLUENCE DE DEUX DATES ET DE DEUX DENSITÉS DE SEMIS SUR LE COMPORTEMENT DE HUIT VARIÉTÉS DE QUINOA DANS LES CONDITIONS AGRO-CLIMATIQUES DE L'IPR/IFRA DE KATIBOUGOU.....	134
UTILISATION DES <i>ACTINOMYCETES</i> COMME BIOFERTILISANT POUR AMÉLIORER LA CROISSANCE ET LE RENDEMENT DU MAÏS	150
IDENTIFICATION ET CARACTÉRISATION DE SOUCHES DE <i>BACILLUS THURINGIENSIS</i> À ACTIVITÉS INSECTICIDES ET FAVORISANT LA CROISSANCE ET LA VIGUEUR DES PLANTES DE MAÏS	158
ADSORPTION DU GLYPHOSATE DANS LES SOLS DE LA ZONE OFFICE DU NIGER AU MALI	165

CARACTÉRISATION MOLÉCULAIRE DES CRISTAUX PROTÉIQUES DES SOUCHES DE <i>BACILLUS THURINGIENSIS</i> (BT) ISOLÉES DES SOLS DU MALI	169
IDENTIFICATION DE BACTÉRIES DURANT DE LA FERMENTATION DES GRAINES DE BAOBAB (<i>ADANSONIA DIGITATA</i> L.) DÉCORTIQUÉES POUR LA PRODUCTION DU SOUMBALA AU MALI	173
STOPPER LE "DÉPÉRISSEMENT" DES MANGUES POUR UNE MEILLEURE VALORISATION DE LA MANGUE: CAS DE L'UTILISATION DES NOYAUX DE <i>MANGIFERA INDICA</i> POUR L'EXTRACTION DU BEURRE	181
LES BASES DE DONNÉES DANS LE DÉVELOPPEMENT DU MONDE RURAL AU MALI.....	186
ETUDE DES POSSIBILITÉS D'ADAPTATION DE CINQ VARIÉTÉS DE BLÉ TENDRE (<i>TRITICUM AESTIVUM</i>) EN ZONE SOUDANO-SAHÉLIENNE DU MALI	198
EFFECT OF STERILIZATION AND DURATION OF INDUCTION ON IN VITRO PLANT REGENERATION FROM UNPOLLINATED OVARIES OF <i>ALLIUM CHINENSE</i>	203
ENVIRONNEMENT-EAU	207
ÉTUDES PRÉLIMINAIRES DE DÉCOLORATION DES EFFLUENTS DE TEINTURERIE ARTISANALE À DIANÉGUELA (COMMUNE VI DU DISTRICT DE BAMAKO).....	208
EVALUATION DE LA CHARGE PARASITAIRE DES LÉGUMES ISSUS DES SITES DE GRANDE PRODUCTION MARAÎCHÈRE DU MALI	213
ÉTUDE COMPARATIVE DU TRAITEMENT DES EAUX USÉES DOMESTIQUES PAR LES FILTRES PLANTÉS DE MACROPHYTES : <i>TYPHA SP</i> ET <i>VETIVERIA ZIZANOIDES</i>	218
ESTIMATING GROUNDWATER RECHARGE IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE USING EARTH AND THORNTON MODELS IN THE KLELA BASIN IN SOUTHERN MALI, WEST AFRICA.....	223
BIODIVERSITÉ BACTÉRIENNE DE L'EAU DE LA MARE DE DEMBA TIARKI TARA, MALI	230
UNE MEILLEURE LECTURE DU TENSIOMÈTRE À EAU POUR SOL.....	235
EVALUATION DE LA QUALITÉ MICROBIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT DANS UN LABORATOIRE DE MICROBIOLOGIE CANDIDAT À L'ACCREDITATION	239
EFFET DU FEU ET DE LA PÂTURE SUR LA VÉGÉTATION DES FORMATIONS SAVANICOLES SUIVANT LE GRADIENT CLIMATIQUE AU MALI.....	244
MODÉLISATION ET SIMULATION EN SCIENCES : MÉTHODES ET APPLICATIONS.....	249
MODÉLISATION ET COMMANDE D'UN SYSTÈME ÉOLIEN À BASE DE MACHINE ASYNCHRONE À DOUBLE ALIMENTATION.....	250
EFFICIENT ALGORITHM FOR SPECTRUM ALIGNMENT BASED ON NATURAL ELEMENT METHOD	258
A ROBUST METHOD FOR NOISE EXTRACTION IN COMPLEX MIXTURE SIGNAL BASED ON EXTREME VALUES DISTRIBUTION	263
SANTÉ PUBLIQUE ET PHARMACOPÉE TRADITIONNELLE.....	267
EFFETS DE L'UTILISATION DES INTRANTS AGRICOLES SUR LA SANTÉ DES PRODUCTEURS DES EXPLOITATIONS DE L'OFFICE DU NIGER DE NIONO AU MALI	268
PRÉVALENCE DE <i>SALMONELLA</i> ET DE <i>CAMPYLOBACTER</i> DANS LES CARCASSES DE POULETS DE CHAIR VENDUES DANS LE DISTRICT DE BAMAKO	275
EVALUATION DE LA CHARGE PARASITAIRE DES LÉGUMES ISSUS DES SITES DE GRANDE PRODUCTION MARAÎCHÈRE DU MALI.....	279
EVALUATION DE L'ACTIVITÉ ANTIOXYDANTE DE <i>ANOGEISSUS LEIOCARPUS</i> . (DC.) GUILL ET PERR.....	284
ETUDE DE LA STRUCTURE GÉNÉTIQUE DE LA POPULATION D'ANOPHÈLES <i>GAMBIAE S.L</i> ET LA DYNAMIQUE DE LA TRANSMISSION DU PALUDISME DANS LA COMMUNE RURALE DE BACOU MANA.....	289
SCIENCES DE L'ÉDUCATION	293
MENDICITÉ : STYLE D'ÉDUCATION OU SIGNE DE PAUVRETÉ ? ANALYSE DE LA MENDICITÉ ET DU SAVOIR-VIVRE ENSEMBLE À LA LUMIÈRE DU CORAN, DES HADITHS ET DES POLITIQUES ÉDUCATIVES ET SOCIALES DU MALI	294
ATTITUDE DES PARENTS D'ÉLÈVES DE BAMAKO FACE À L'UTILISATION DES LANGUES NATIONALES DANS L'ENSEIGNEMENT FONDAMENTAL MALIEN	304
CANCERS : PRÉVENTION-STRATÉGIES DE DÉPISTAGE-PRISE EN CHARGE	313

INFLUENCE DE TROIS EXTRAITS D'ALCALOÏDES TOTAUX SUR LA PROLIFÉRATION DES CELLULES CANCÉREUSES MAMMAIRES MCF-7.....	314
IMPACT OF COMMUNITY-LED EDUCATION ON KNOWLEDGE OF HPV, CERVICAL CANCER AND WILLINGNESS TO PARTICIPATE IN HPV VACCINATION IN BAMAKO, MALI	318
COMPOSITION CHIMIQUE ET ACTIVITÉ ANTICANCÉREUSE DE L'HUILE ESSENTIELLE DE <i>ZANTHOXYLUM ZANTHOXYLOIDES</i>	323
MATHÉMATIQUES-PHYSIQUE-CHIMIE ET APPLICATIONS	328
FORMULATION, MECHANICAL, ADHESION AND CHEMICAL PROPERTIES OF HEAT-RESISTANT EPOXY SILOXANE HYBRID PAINTS	329
JAUGEAGE DES MÉLANGES DE MÊME ESPÈCE CHIMIQUE.....	337
COMPRENDRE LA GÉNÉRALISATION RELATIVISTE DE LA THÉORIE DE LA FONCTIONNELLE DE LA DENSITÉ (TFD OU DFT) ET LA COMPLÉTER DANS LA PRATIQUE	341
TRANSMUTATION ESPACE-TEMPS.....	350
LISTE DES PARTICIPANTS	356

AGRICULTURE

Effet de *Vitellaria paradoxa* sur la fertilité du sol et la productivité du *sorghum bicolor* L.Moench avec ou sans *Stylosanthes Hamata* dans les conditions de l'IPR/IFRA Katibougou

S. G. DEMBÉLÉ^{1*}, A. COULIBALY¹, B.M. TRAORÉ¹, B.A. TOURÉ¹, Y.D. BERTHÉ¹

¹IPR/IFRA; Katibougou

*Adresse de correspondance : sidikigabriel@gmail.com

RESUME: La pression démographique avec ses exigences impose une approche intégrée de production afin de concilier l'intérêt du producteur et la protection de l'environnement.

Une étude a été initiée pour mesurer la céréale avec ou sans légumineuse; avec ou sans karité; trois niveaux du rayon du houppier selon les quatre points cardinaux. Les traitements mis en compétition résultent de la combinaison entre céréale avec ou sans légumineuse; avec ou sans karité à trois niveaux du rayon du houppier selon les quatre (4) points cardinaux. Le dispositif expérimental a été le confounding en quatre (4) répétitions. Les données collectées ont été traitées statistiquement au moyen du logiciel STATITCF. La comparaison des moyennes des traitements a été faite à travers le test de Newman et Keuls au seuil de 5%.

Les résultats des paramètres du sol mesurés indiquent une tendance générale d'une réduction des valeurs indépendamment de la distance et de l'orientation des systèmes de culture du houppier à celle d'avant l'installation de l'essai : pH_{eau}, cette valeur se situe dans l'ordre de 5,85 (orientation Ouest, culture associée) à 6,33 (orientation Ouest, culture pure) contre 6,15 (orientation Nord) à 6,37 (orientation Ouest); taux de la matière organique, la valeur se situe dans l'ordre de 0,75 (2R, culture pure) à 1,49 (3R/2, culture associée) contre 1,54 (orientation Ouest) à 2,20 (orientation Est); taux de phosphore total, la valeur se situe dans l'ordre de 287,88 (orientation Est, culture associée) à 448,24 (orientation Sud, culture pure) contre 358,35 (orientation Nord) à 588,38 (orientation Est); taux du phosphore assimilable, la valeur est de 31,10 (orientation Ouest, culture pure) à 54,90 (R, culture associée). Cette tendance se conserve pour les parcelles témoins hors arbre. Le rendement grain de sorgho s'améliore significativement ($P = 0,0147$) indépendamment de la distance et de l'orientation. La valeur se situe dans l'ordre de 15,10 q/ha (Ouest-2R) à 18,66 q/ha (Est – R) contre 14,00 q/ha à 16,69 q/ha (hors arbre). La présence de l'arbre reste favorable au système de culture globalement mais faiblement pour les orientations Ouest et Sud, surtout le système sans stylosanthes. Les biomasses sèches de sorgho et stylosanthes sont réduites sous arbre quel que soit la distance.

Mots clés: techniques agroforestières, *Vitellaria paradoxa*, fertilité, *sorghum bicolor* L.Moench, *stylosanthes hamata*, rendement.

I. INTRODUCTION

Les parcs agroforestiers font partie du paysage africain depuis des siècles et ils se retrouvent le plus souvent dans les zones semi-arides ou subhumides des tropiques de l'Afrique de l'Ouest (Boffa, 2000). Selon Pullan (1974) et Raison (1988), cités dans Boffa (2000), le système des parcs agroforestiers se caractérise par « le maintien délibéré d'arbres disséminés sur les terres cultivées ou les jachères récentes ». Les espèces dominantes des parcs agroforestiers sont *Vitellaria paradoxa* (l'arbre à karité), *Parkia biglobosa* et *Faidherbia albida*. Bien que le terme « parc » fasse référence à un paysage façonné par les activités agricoles de l'homme (Boffa, 2000), il n'en demeure pas moins que les arbres sont restés semi domestiqués ou non domestiqués (Teklehaimanot, 2004). Les arbres privilégiés dans ce système sont conservés en raison de leurs usages multiples. Il est vrai que dans le passé, de nombreuses études ont été réalisées sur la

mise en marché et l'amélioration de la qualité des produits du karité. Cependant, bien peu d'études ont porté sur les pratiques culturelles et les techniques sylvicoles de même que sur la gestion communautaire des parcs agroforestiers.

une fonction importante des parcs agroforestiers se situe au niveau de leurs effets sur l'environnement, notamment sur l'amélioration de la fertilité et l'augmentation de l'humidité de l'horizon superficiel des sols.

«Quant à la densité de population des arbres à karité, elle est d'environ 10 à 20 arbres/hectare dans les 10 à 20 km entourant les communautés. Cette densité diminue rapidement à mesure que l'on s'éloigne des populations humaines » (Conversation P. Lovett, 12 mars 2008). En effet, il faut se rappeler que l'arbre à karité est une espèce anthropique, c'est à dire qui a bénéficié pendant de nombreuses années de la protection et des soins apportés par l'homme (Lovett, 2000).

Depuis la fin des années 1950, plusieurs indices indiquent une dégradation importante des parcs à karité pour l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest. Cette situation est problématique pour les populations locales qui, comme nous l'avons mentionné, ont traditionnellement conservé l'arbre à karité en raison de ses usages multiples. La dégradation se traduit à la fois par la diminution de la densité moyenne des parcs à karité de même que par un vieillissement général sur l'ensemble du territoire.

Traditionnellement, lorsque les sols forestiers étaient convertis en sols agricoles, quelques arbres étaient gardés en fonction de leur valeur pour répondre aux besoins de base des populations. D'ailleurs, la présence de *Vitellaria paradoxa* dans les parcs agroforestiers témoigne de l'installation de populations qui, traditionnellement, ne pratiquaient pas l'élevage et qui tiraient de cet arbre leur principale source de matière grasse (Saussey, 2006). Les parcs à karité sont maintenant menacés par certaines pratiques culturelles appliquées couramment. Les périodes de jachères permettent l'établissement de la croissance initiale des jeunes arbres. Aujourd'hui, en raison de la croissance démographique plus élevée et le changement des pratiques culturelles, il y a une diminution importante de la période de jachère, allant parfois jusqu'à une disparition complète de celle-ci. De même, la relation entre les arbres à karité dans les champs et les cultures est plutôt complexe. Il a été démontré que l'arbre à karité pouvait améliorer la fertilité des sols et le microclimat, mais aussi, qu'il engendre d'importantes pertes de rendement au niveau des cultures céréalières. En effet, il y a concurrence entre l'arbre et les cultures céréalières pour l'approvisionnement en eau et en éléments minéraux de même que pour l'interception du rayonnement solaire. Pour compenser les pertes par des rendements en produits forestiers non ligneux, certaines techniques sylvicoles comme l'émondage doivent être appliquées. Ces techniques ne sont malheureusement pas toujours effectuées correctement par les paysans.

La pression démographique a aussi pour conséquence l'augmentation du nombre de têtes de bétails présents dans les parcs agroforestiers ce qui se traduit pas un pâturage plus intensif. Pendant la saison sèche, les pousses ligneuses sont une composante essentielle à l'alimentation du bétail et en particulier à celle des chèvres (Gijssbers, 1994).

L'évolution des outils agricoles traditionnels au cours du siècle dernier a aussi des conséquences néfastes sur la ressource. En effet, si la culture attelée au champ a permis l'augmentation de la production agricole, elle est souvent ciblée comme étant responsable de la dégradation de l'ensemble des parcs agroforestiers. De plus, l'utilisation de la charrue est une pratique de plus en plus répandue mais elle a souvent pour conséquence le

déracinement des jeunes pousses (Gijssbers et al. 1994).

Enfin, l'arbre à karité a une croissance très lente puisque la plantule ne s'allonge que de 10 à 12 centimètres la première année (Picasso, 1984 dans Sallé et al. 1991). L'arbre ne commencera sa fructification qu'à l'âge de 20 ans pour atteindre sa production maximale vers 40 ou 50 ans (Ruyssen, 1957 dans Sanou et al. 2004).

Ainsi certains cultivateurs locaux évitent de planter et de protéger les arbres à karité qui sont situés dans leurs champs. De plus, on observe une augmentation des superficies utilisées pour les cultures de rentes, notamment les vergers de manguiers et les champs de coton en monoculture. Les espaces traditionnellement réservés aux parcs à karité diminuent donc en faveur de cultures possédant des avantages économiques plus rapidement perceptibles.

De cette analyse il importe de développer une approche intégrée de production afin de concilier l'intérêt du producteur et la protection de l'environnement d'où cette activité intitulée: Effet de *Vitellaria paradoxa* sur la fertilité du sol et la productivité du *sorghum bicolor* L.Moench sans ou avec *stylosanthes hamata* dans les conditions de l'IPR/IFRAKatibougou.

II. OBJECTIFS

L'activité vise à améliorer la production et la productivité des sols des parcs à Karité à travers une meilleure intégration agriculture, élevage et sylviculture et de façon spécifique:

- déterminer le rendement du sorgho avec ou sans *stylosanthes hamata* en fonction de la distance au tronc de karité
- déterminer le rendement en fourrage du *stylosanthes hamata* avec ou sans sorgho en fonction de la distance au tronc de karité,
- déterminer l'évolution de la fertilité du sol sous les différents systèmes impliqués

III. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Matériel

Végétal:

Une culture annuelle: sorgho, variété MIKSOR 86-30-42

Une légumineuse pérenne: *stylosanthes hamata*, var Verano

Une essence forestière: karité, *butyros pernum parkii*

Intrants de sources de nutriments végétaux:

-Phosphore sous forme de phosphate naturel de Tilemsi (PNT), dosant 28% de P₂O₅ à raison de 150 kg/ha,

-Azote sous d'urée dosant 46% d'N à raison de 50 kg/ha 30 jours après la levée du sorgho.

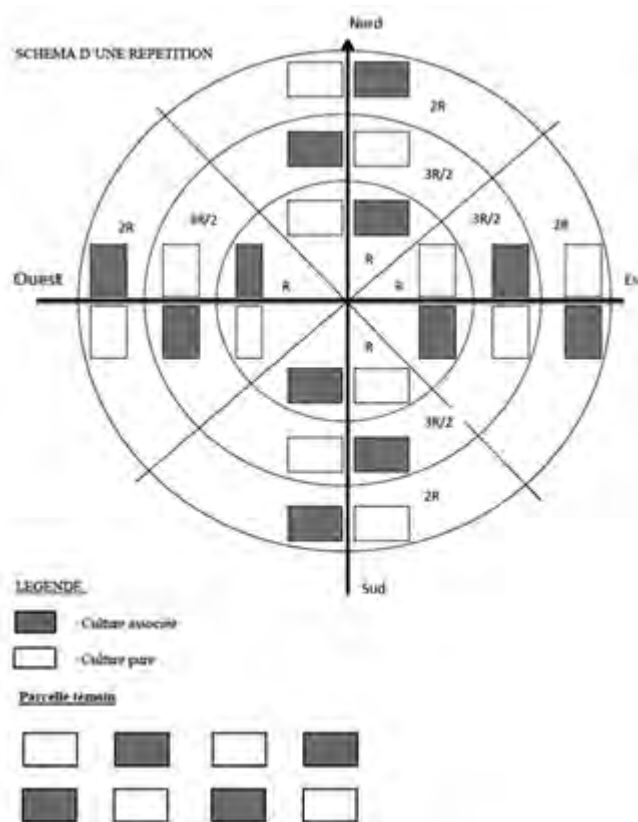
Sol: ferrugineux tropical lessivé de texture sablo – limoneuse, pauvre en azote, en phosphore total et assimilable, en matière organique et de pH acide.

Méthodes

Traitements: Les traitements mis en compétition résultent de la combinaison entre céréale avec ou sans légumineuse; avec ou sans karité à trois

distances du tronc du houppier selon les quatre (4) points cardinaux.

Dispositif expérimental. Le dispositif est celui du Confonnding avec quatre répétitions.



IV. RÉSULTATS

Tableau 1. Variation du pHeau en fonction de l'orientation et le système de culture

Orientation	A la récolte		Avant semis
	Système de culture		Echantillon moyen
	Culture associée	Culture pure	
EST	5,85	6,01	6,31
OUEST	5,85	6,33	6,37
Nord	5,90	5,87	6,15
Sud	6,25	6,25	6,41
Hors arbre	5,85	5,88	6,30
Moyenne	5,94	6,06	6,30

Tableau 2. Variation du pHeau en fonction de la distance et le système de culture

Distance	A la récolte		Avant semis
	Système de culture		Echantillon moyen
	Culture associée	Culture pure	
R	6,30	6,27	6,33
3R/2	6,02	6,10	6,34
2R	5,95	6,02	6,27

Hors arbre	5,85	5,88	6,30
Moyenne	6,00	6,13	6,31

Les résultats des tableaux 1 et 2 montrent que le sol qui était légèrement acide au début devient moyennement acide selon la distance au tronc du karité. Cet effet sur l'acidité est atténué par l'association du sorgho et *stylosanthès hamata*. Quant à l'orientation, nous notons une acidification à l'Est et au Nord quel que soit le système de culture.

Tableau 3: Variation du taux de matière organique en fonction de l'orientation et le système de culture

Orientation	A la récolte		Avant semis
	Système de culture		Echantillon moyen
	Culture associée	Culture pure	
EST	1,23	1,13	2,20
OUEST	1,23	1,07	1,54
Nord	1,47	1,02	1,64
Sud	1,47	0,82	2,13
Hors arbre	0,10	0,20	0,94

Moyenne	1,10	0,84	1,69

Tableau 4. Variation du taux de matière organique en fonction de la distance et le système de culture

Distance	A la récolte		Avant semis
	Système de culture		
	Culture associée	Culture pure	Echantillon moyen
R	1,33	1,00	1,80
3R/2	1,49	1,15	1,68
2R	1,25	0,75	2,13
Hors arbre	0,10	0,20	0,94
Moyenne	1,04	0,77	1,63

Les résultats des tableaux 3 et 4 permettent de dire que le sol est pauvre en matière organique quelque soit la position par rapport à l'arbre et aux points cardinaux. Nous notons une réduction progressive du taux de matière organique au fur et à mesure que l'on s'éloigne du tronc de karité.

Tableau 5: Variation du taux de phosphore total en fonction de l'orientation et le système de culture

Orientation	A la récolte		Avant semis
	Système de culture		Echantillon moyen
	Culture associée	Culture pure	
EST	287,88	307,57	588,38
OUEST	324,10	322,09	460,05
Nord	407,57	362,21	358,35
Sud	390,91	448,24	503,63
Hors arbre	297,82	377,42	477,92
Moyenne	341,65	363,50	477,66

Tableau 6. Variation du phosphore total en fonction de la distance et le système de culture

Distance	A la récolte		Avant semis
	Système de culture		
	Culture associée	Culture pure	Echantillon moyen
R	361,36	377,38	450,36
3R/2	330,04	368,99	393,95
2R	314,44	350,74	488,58
Hors arbre	297,82	377,72	473,92
Moyenne	325,91	368,70	451,70

Les valeurs des tableaux 5 et 6 indiquent un sol moyennement pourvu en phosphore total.

Tableau 7: Variation du taux de phosphore assimilable en fonction de l'orientation et le système de culture

Orientation	A la récolte	Avant semis
	Système de culture	

	Culture associée	Culture pure	Echantillon moyen
EST	41,77	36,38	195,72
OUEST	32,39	31,10	113,98
Nord	40,62	41,16	169,14
Sud	31,55	35,36	137,44
Hors arbre	45,94	41,12	90,73
Moyenne	38,45	37,02	141,40

Tableau 8. Variation du phosphore assimilable en fonction de la distance et le système de culture

Distance	A la récolte		Avant semis
	Système de culture		
	Culture associée	Culture pure	Echantillon moyen
R	54,90	52,30	118,13
3R/2	50,89	45,64	145,65
2R	46,21	43,59	123,43
Hors arbre	43,44	41,12	96,73
Moyenne	48,86	45,66	120,98

Les résultats des tableaux 7 et 8 montrent que le sol initialement riche en phosphore assimilable se maintient malgré l'utilisation d'une bonne partie par les cultures. De même que le phosphore total, les sols de l'Est et du Nord sont plus fournis en phosphore assimilable que l'Ouest et Sud. Nous notons que plus l'on s'éloigne du tronc de karité plus le taux de phosphore assimilable baisse. L'association sorgho – *stylosanthès* semble favorable à la libéralisation du phosphore du sol.

Tableau 9: Effet du dispositif sur le poids des 1000 graines et le rendement du sorgho

Traitements	M1000 (g)	Rendement (Q/ha)
1	23,65AB	19,90 A
2	21,63 AB	15,70 BC
3	21,08 AB	16,23 B
4	21,77 AB	16,20 B
5	22,10 AB	17,46 B
6	22,40 AB	19,85 A
7	21,47 AB	14,80 C
8	22,63 AB	15,81 BC
9	21,20 AB	13,20 C
10	23,50 AB	16,99 B
11	24,37 AB	17,27 B
12	20,55 AB	14,29 C
13	24,35 AB	16,56 B
14	21,63 AB	18,85 AB
15	17,83 B	17,89 B
16	22,65 AB	16,92 B
17	17,03 B	14,19 C
18	22,28 AB	15,72 BC
19	22,47 AB	19,26 A
20	19,85 AB	14,14 C
21	23,40 AB	14,92 C
22	21,83 AB	16,51 B

23	23,20 AB	14,23 C
24	26,67 A	15,42 BC
25	24,05 AB	14,87 C
26	22,47 AB	15,04 BC
Moyenne générale	22,16	16,24
Probabilité	0,0247	0,0147
Ecart-types	2,93	2,61
CV (%)	13,20	16,10
Signification	S	S

Les valeurs du tableau 9 illustrent une différence statistiquement significative ($P < 0,05$). La décomposition des facteurs montre qu'il existe un effet de l'interaction orientation – distance au tronc de karité, orientation-système de culture et distance – système de culture. Aussi nous notons que les graines fournies par les plants de sorgho situés à 5 m du karité pèsent plus lourdes que ceux situés à 7,5 m ou à 10 m. Les graines de sorgho pur au Nord sont plus lourdes que celles du sorgho associé à *stylosanthès*. Les graines de sorgho associé au *stylosanthès* hors influence du karité pèsent plus que celles fournies par le sorgho en culture pure.

Tableau 10: Récapitulatif des groupes homogènes au Test de Newman et Keuls au seuil de 5% du rendement

EST			OUEST			NORD			SUD			Hors arbre	Groupe homogènes
R	3R/2	2R	R	3R/2	2R	R	3R/2	2R	R	3R/2	2R		
Sans stylo		Avec stylo	-	-	-	-	-	-	Sans stylo	-	-	-	1
-	-	-	-	-	-	Avec stylo	-	-	-	-	-	-	2
-	Sans et avec stylo	Sans stylo	-	Avec stylo	Sans stylo	Sans stylo	Sans et avec stylo	-	-	Avec stylo	-	-	3
Avec stylo	-	-	Avec stylo	-	-	-	-	Avec stylo	-	-	Avec stylo	Avec stylo	4
-	-	-	Sans stylo	Sans stylo	Avec stylo	-	-	Sans stylo	Avec stylo	Sans stylo	Sans stylo	Sans stylo	5

La synthèse de l'effet du dispositif sur le rendement du sorgho (tableau 10) met en évidence l'interaction orientation – distance – système de culture, cela en faveur d'EST-R-, sans stylo, EST- 2R-avec stylo et SUD – R – sans stylo en élaborant respectivement 19,90, 19,85 et 19,26 Q/ha.

V. CONCLUSION

La physionomie des résultats réalisés permettent de conclure dans l'intérêt du dispositif pour une production et productivité continue et soutenue. Cette durabilité requiert la présence du *stylosanthès* plus on s'éloigne du tronc d'arbre indépendamment de l'orientation.

REFERENCES

- [1] BOFFA, J. M. 2000. Les parcs agroforestiers en Afrique de l'Ouest: clés de la conservation et d'une gestion durable, Unasylva: Les arbres hors forêts, no 200, vol 51, p. 11-17.
- [2] GIJSBERS, H. J. M et al. 1994. Dynamics and natural regeneration of woody species in farmed parklands in the Sahel region, Province of Passore, Burkina Faso, Forest ecology and management, no 64, p. 1-12.
- [3] LOVETT, P. N. et N. Haq. 2000. Evidence for anthropic domestication of the sheanut tree, Agroforestry systems, vol 48, no 3, p. 273-288.
- [4] SANOU, H. et al. 2004. Vegetative propagation of *Vitellaria paradoxa* by grafting, Agroforestry systems, vol 60, no 1, p. 93-99.
- [5] SAUSSEY, M. 2006. Dynamiques de changements socio-économiques, groupements de femmes et karité au Burkina Faso, Journée Thèses ouvertes
- [6] SYAL – ENSAM, Montpellier, 23 p.
- [7] TEKLEHAIMANOT, Z. 2004. Exploiting the potential of indigenous agroforestry trees: *Parkia biglobosa* and *Vitellaria paradoxa* in sub-Saharan
- [8] Africa, Agroforestry systems, vol 61-62, no 1-3, p. 207-220.
- [9] PICASSO, G. 1984. Synthèse des résultats acquis en matière de recherche sur le karité au Burkina Faso de 1950 à 1958, Rapport IRHO, 45 p.

Contribution du fumier bovin et du phosphate naturel de Tilemsi à la gestion rationnelle de l'azote de l'urine humaine hygiénisée en coton culture dans les conditions écologiques de l'IPR/IFRA de Katibougou

Alou COULIBALY^{1*}, Sidiki G. DEMBELE¹, Bocar A. TOURE¹, Ousmane COULIBALY².

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

²Faculté des Sciences et Techniques (FST) de l'Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako (USTTB)

* Auteur correspondant: coulibalynalou@gmail.com

RESUME: La valorisation de l'urine humaine en agriculture est confrontée au problème de l'utilisation rationnelle de son azote. Pour contribuer à la recherche d'une solution à ce problème, une étude a été conduite à l'IPR/IFRA de Katibougou, qui avait comme objectif la contribution à l'utilisation rationnelle de l'urine humaine en cotonculture à travers l'immobilisation temporaire de son azote dans le fumier bovin et le phosphate naturel de Tilemsi (PNT). L'expérimentation a été conduite en blocs de Fisher avec 12 traitements en quatre répétitions. Le logiciel STATITCF a été utilisé pour l'analyse de variance et le Test de Newman et Keuls au seuil de 5% pour la comparaison des moyennes.

Les résultats montrent que l'ensemble des combinaisons de l'urine avec le Fumier bovin et avec le PNT ont induit en moyenne une augmentation du coton grain de 238,30 kg et de l'azote de 0,19% dans la biomasse par rapport à l'apport de l'urine seule.

Mots clés: Urine humaine, fumier de bovin, PNT, IPR/IFRA, productivité.

I. INTRODUCTION

En Afrique en general et en Afrique sub-saharienne en particulier, l'agriculture est dépendante des importations des fertilisants minéraux. Cependant, les applications de ces produits ne sont jamais suffisantes pour améliorer les rendements et maintenir la fertilité des sols. Afin d'équilibrer les bilans d'éléments nutritifs négatifs existants dans la plupart des systèmes de production d'Afrique de l'Ouest, des importations énormes d'engrais et une optimisation de l'utilisation des terres sont nécessaires (Stoorvogel et Smaling, 1990). Comme de telles importations sont irréalistes eu égard à leur coût élevé, des alternatives sont indispensables. Une des solutions peu onéreuses réside dans l'utilisation rationnelle des substances fertilisantes locales. Ainsi les excréta humains; de par leur richesse peuvent être utilisés comme sources de nutriments de végétaux. Plusieurs études menées par différents chercheurs ont montré l'efficacité des excréta (urine et fèces) humains hygiénisés sous diverses cultures. Toutefois la valorisation de l'urine humaine en agriculture est confrontée au problème de l'utilisation rationnelle de son azote. Pour contribuer à la recherche d'une solution à ce problème, une étude a été menée à l'IPR/IFRA de Katibougou sur l'apport combiné de l'urine avec le fumier bovin et le Phosphate Naturel de Tilemsi pour immobiliser

temporairement l'azote de l'urine afin d'élever son efficacité agronomique.

II. OBJECTIFS

Contribuer à l'utilisation rationnelle en coton culture de l'azote de l'urine humaine à travers son immobilisation temporaire dans le fumier bovin et/ou le phosphate naturel de Tilemsi.

III. MATERIEL ET METHODES

3.1. Matériel

3.1.1. Sol

Il est Ferrugineux tropical lessivé avec une texture limoneuse fine en surface et limoneuse en profondeur. Le pH_{eau} va de moyennement à fortement acide. Les valeurs de paramètres étudiés en comparaison avec les normatives montrent que le sol de l'essai est de faible potentiel de productivité.

3.1.2. Matériel Végétal

Le matériel végétal est constitué par la variété de cotonnier STAM 59A-R2 à graines vêtues d'un cycle (semis – maturité) 127 jours. Son rendement en station est de 2,5 t/ha. Elle convient à des zones de culture dont la pluviométrie annuelle varie de 700 – 1000mm.

3.1.3. Intrants utilisés

- engrais: urine (pH= 8,9; N = 2,61%; P₂O₅ = 0,37%; K₂O = 1,11%); bouse de vaches (pH= 8,2; N= 1,05%; P₂O₅ = 0,35%; K₂O = 1,27%); phosphore naturel de Tilemsi (28% de P₂O₅).

-Produits phytosanitaires: Neem 7 jours + physalis 2 jours + Koby (huile).

3.2. Méthodes

3.2.1. Facteurs étudiés et traitements

Le facteur étudié était le mode d'apport des fertilisants, pris à douze (12) niveaux de variation.

3.2.2. Traitements

Les traitements mis en compétition sont portés dans le tableau ci – dessous.

Tableau 1: Traitements et quantité de fertilisants appliqués par parcelle élémentaire

N°	Traitements	Quantité de fertilisants appliqués		
		Urine (L)	FB (kg)	PNT (g)
1	sans application de nutriments (S.A.N)	-	-	-
2	Urine appliquée superficiellement (U.A.S.)	25	-	-
3	Urine appliquée en profondeur (U.A.P)	25	-	-
4	Phosphate naturel de Tilemsi (P.N.T)	-	-	432
5	Fumier bovin (F.B.)	-	12	-
6	urine appliquée superficiellement + phosphate naturel de Tilemsi (U.A.S. + P.N.T)	25	-	432
7	Urine appliquée superficiellement + fumier bovin (U.A.S. + F.B.)	25	12	-
8	Phosphate naturel de Tilemsi + fumier bovin (P.N.T. + F.B.)	432	12	-
9	urine appliquée superficiellement + phosphate naturel de Tilemsi + fumier bovin (U.A.S. + P.N.T. + F.B.)	25	12	432
10	Urine appliquée en profondeur + phosphate naturel de Tilemsi (U.A.P.+P.N.T.)	25	-	432
11	Urine appliquée en profondeur + fumier bovin (U.A.P. + F.B.)	25	12	-
12	Urine appliquée en profondeur + phosphate naturel de Tilemsi + fumier bovin (U.A.P. + P.N.T. + F.B.)	25	12	432

3.2.3. Dispositif expérimental

L'expérimentation a été conduite en blocs de Fisher en quatre répétitions. La distance entre blocs était de 1,5 m et celle entre parcelles élémentaires était de 1,0 m. La superficie de l'unité expérimentale était de 14.4m² (4,5 x 3.20m) et comportait 4 lignes de 15 poquets chacune. Les écartements de semis étaient de 0.80m x 0.30m.

3.2.4. Collecte des données

-Rendement coton grain par hectare

À l'éclatement des capsules, le coton grain de toutes les plantes de chaque parcelle utile est récolté, puis séché au laboratoire à la température ambiante pendant trois (3) semaines. Ensuite, il a été pesé. Les données de la parcelle utile ont été ensuite extrapolées à l'hectare afin de déterminer les rendements en coton grains par hectare.

-L'accumulation de l'azote dans la biomasse végétale

Des prélèvements d'échantillons ont été faits sur la biomasse végétale aérienne (feuilles, tiges et fleurs) et envoyés au laboratoire « Sciences du sol » de l'IPR/IFRA de Katibougou pour la détermination de la teneur de l'azote total selon la méthode Kjeldahl.

3.2.5. Analyse des données de l'essai

Le logiciel STATITCF (CIRAD, 1990) a été utilisé pour l'analyse de variance et le Test de Newman et Keuls au seuil de 5% pour la comparaison des moyennes.

IV. CONDITIONS DE CONDUITE DE L'ESSAI

4.1. Historique de la parcelle

Le champ expérimental a été respectivement occupé par la jachère (2006 – 2007), la jachère améliorée (2005 – 2006), la jachère (2004 – 2005) et le Sorgho sans fertilisation (2003 – 2004).

4.2. Conditions climatiques

La quantité totale de pluies recueillies a été de 388,7 mm avec les plus grandes quantités en juillet et août respectivement 218,8 et 114,0 mm. La température moyenne enregistrée a été 29,6° C.

V. RÉSULTATS

5.1. Rendement coton grain

Les résultats relatifs aux rendements coton grain sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2: Rendement coton grain (kg/ha)

Traitements	Rendement (kg/ha)
S.A.N.	1189.46 b
U.A.S.	1647.31 ab
U.A.P	1844.84 ab
P.N.T	1325.74 b
F.B.	1643.63 ab
U.A.S. + P.N. T	1859.92 ab
U.A.S. + F.B.	1813.05 ab
P.N.T. + F.B.	1895.94 ab
U.A.S. + P.N.T. + F.B.	1843.92 ab
U.A.P. + P.N.T.	2294.88 a
U.A.P. + F.B.	2168.96 a
U.A.P. + P.N.T. + F.B.	1925.49 ab
Probabilité	0.0039
Signification	HS
CV %	19.10
Moyenne générale	1787.76

Les valeurs suivies de même lettre ne sont pas statistiquement différentes entre elles pour le test de Newman et Keuls au seuil de 5%.

L'analyse de variance indique une haute différence statistiquement significative entre les traitements. Cette différence soumise au Test de Newman et Keuls signale trois groupes homogènes: a; ab et b avec des rendements moyens respectifs de 2231,92; 1809,26 et 1257,6 kg/ha

De ces rendements, on constate que l'application de l'urine en profondeur avec le FB ou avec le PNT a plus contribué à l'élaboration du rendement coton grain.

5.2. L'accumulation de l'azote dans la biomasse végétale

Les données de la mobilisation de l'azote par la culture du cotonnier figurent dans le tableau 3.

Tableau N°3: Effet du facteur étudié sur l'accumulation de l'azote dans la biomasse végétale.

Traitements	Azote total (%)
S.A.N.	1,24 e
U.A.S.	1,74 bc
U.A.P	1,77 abc
P.N.T	1,20 e
F.B.	1,45 d
U.A.S. + P.N.T	1,89 ab
U.A.S. + F.B.	1,87 ab
P.N.T. + F.B.	1,60 cd
U.A.S. + P.N.T. + F.B.	1,90 ab
U.A.P. + P.N.T.	1,96 ab
U.A.P. + F.B.	2,04 a
U.A.P. + P.N.T. + F.B.	2,00 ab

Probabilité	0,0000
Signification	HS
CV %	7,2
M. G	1,72

Les valeurs suivies de même lettre ne sont pas statistiquement différentes entre elles pour le test de Newman et Keuls au seuil de 5%.

L'analyse de variance révèle une très haute différence statistiquement significative. Cette différence soumise au Test de Newman et Keuls au seuil de 5 % révèle sept (07) groupes homogènes: a, ab, abc, bc, cd, d, e, dont les teneurs moyennes respectives sont 2,04; 1,92; 1, 77; 1, 74; 1,60; 1,45 et 1,22%.

De ces résultats, il ressort que l'accumulation de l'azote de l'urine est élevée dans la biomasse des plants quand cet excréta est associé au fumier de bovin et/ou au phosphate naturel de Tilemsi. Cette tendance s'illustre à travers la figure 1.

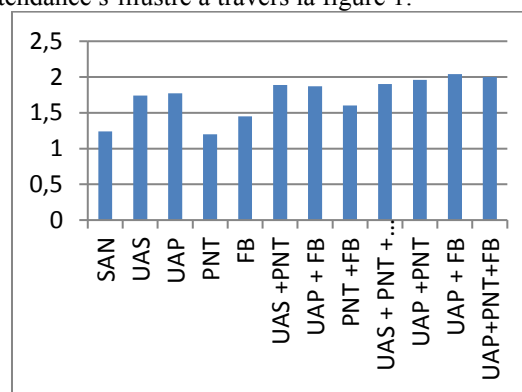


Figure 1: Comparaison de la teneur de l'azote dans la biomasse végétale (%)

Cette accumulation a occasionné une augmentation considérable du taux de recouvrement de l'azote. Ainsi, ce taux est en moyenne 39,48% et 61,41% pour U.A.P. + F.B. et/ou PNT contre 30,67 % et 39,48 % respectivement pour U.A.S et U.A.P, U.A.S.+ FB et/ou PNT.

VI. DISCUSSION

L'apport de l'urine a favorisé une augmentation du rendement coton grain et de la teneur en azote total dans la biomasse du cotonnier par rapport au traitement sans fertilisants. Cet effet bénéfique de l'urine a été déjà mis en évidence par plusieurs études menées par différents chercheurs (Delwendé, 2005.; Dembélé., 2004; Comoe et al., 2009.; Comoe, 2005; Adou et al. 2004; Bonzi; 2004 ; Bocoum, 2004 ; Niang, 2004, Coulibaly, 2000, 2009 ; Projet ECOSAN_UE., Ouagadougou, 2009 ; Surenda and al., 2009) en Côte d'Ivoire, au Sénégal, au Bénin, au Togo, au Burkina Faso sous diverses cultures comme le maïs, le gombo, le manioc, le chou pommé, la laitue, la tomate et le sorgho, le cotonnier, le riz. Les effets positifs de l'application de l'urine

en profondeur ou en surface avec le PNT et/ou le fumier de bovin ont été observés au niveau du rendement coton grain et de la teneur de l'azote total dans la biomasse comparativement à son apport sans ses substances. Cette tendance est mise plus en évidence pour l'urine apportée en profondeur avec le fumier bovin et le phosphate naturel de Tilemsi. Cela pourrait s'expliquer par le fait que la plus grande quantité de l'azote de l'urine se trouve sous forme d'urée (Almeida et al, 1999), donc, son apport en surface peut provoquer sa volatilisation ou sa transformation en nitrate, occasionnant une grande perte ; Or, placée profondément dans le sol, le contact de l'azote ammoniacal étant limitée avec l'oxygène, il pourra conserver sa forme ammoniacale relativement longtemps et être fixé par le complexe formé par les matières organiques ; d'où une mobilisation biologique temporaire. Ceci militerait en faveur de sa mise à disposition continue et soutenue de la plante. Plusieurs travaux (Bationo *et al*, 1993; Segda *et al*, 2014; Saar, 1986; Abga, 2013; Ouédraogo *et al.*, 2001, 2007; Sedogo, 1981, 1993) ont montré l'importance des amendements organiques dans le maintien de l'azote dans le sol et l'augmentation de son taux d'absorption par les plantes.

VII. CONCLUSION

De cette étude, il ressort que le FB et le PNT améliore considérablement les conditions d'utilisation de l'azote de l'urine par le cotonnier. L'apport combiné de ce excréta avec le PNT et/ou le FB quel que soit le mode d'apport a favorisé l'augmentation du rendement coton grain et de la teneur de l'azote total dans la biomasse des plants. Cependant, pour le rendement coton grain l'application de l'urine en profondeur avec le FB ou le PNT a été meilleure. Tandis que, pour la teneur en azote total, l'urine + FB appliqués en profondeur a pris le dessus. La physiologie des résultats s'illustre dans l'intérêt de l'application de l'urine avec ou sans FB et/ou PNT en profondeur dans les conditions Sub Sahariennes où les conditions climatiques en général et spécifiquement la température favorisent la perte de l'azote.

REFERENCES

- [1] Abga PT, 2013.- Détermination des options de fertilisation organo-minérale et la densité de semis pour une intensification de la production du maïs dans la région de l'Est du Burkina Faso. Mémoire de master II en Sciences du sol, 73 p.
- [2] Adou R.A, 2004. Impact de l'urine sur les cultures de laitue et chou pommé au Togo. Rapport du 1^{er} forum sur la recherche au sein du réseau CREPA, Ouagadougou 6-10 décembre 2004, P. 11.
- [3] Almeida M.C., Butler D. et Friedler E, 1999. At source wastewater quality. *Urban water* 1, PP49-55.
- [4] Bationo, A., Buerkert, A., Sedogo, M.P., Christianson, B.C. and Mokwunye, A.U. 1993. A critical review of crop residue use as soil amendment in the African Semi-Arid Tropics. In: *Proceedings of International Conference on Livestock and Sustainable Nutrient Cycling in Mixed Farming Systems of Sub-Sahara Africa*. J.M. Powell, T.O. Williams, S. Fernandez-Rivera and C. Renard (eds). International Livestock Centre for Africa, Addis Ababa, Ethiopia.
- [5] Bocoum F, 2004. Effet d' l'apport de l'urines humaines hygiénisées sur la production de la variété de sorgho améliorée « SARIASO 14 » dans le village de Sabtenga au Burkina Faso. Rapport du 1^{er} forum sur la recherche au sein du réseau CREPA, Ouagadougou 6-10 décembre 2004, P. 11.
- [6] Bonzi M, 2004. Techniques d'utilisation des urines comme engrais azoté pour les cultures maraichères. Rapport du 1^{er} forum sur la recherche au sein du réseau CREPA, Ouagadougou 6-10 décembre 2004, P. 11.
- [7] Comoe BK., Gnagne T., Kone D., Aké S., Dembélé SG., Kluste A, 2009. Amélioration de la productivité de l'igname par l'utilisation d'urine humaine comme fertilisant. *Sud Sciences et Technologie*, Semestriel N° 17, 35 p.
- [8] Comoe BK., 2005. Impacts agronomiques de l'urine humaine sur la culture du manioc au (Manihot esculenta) et d'igname (Dioscorea cayenensis – rotundata) au sud de la Côte d'Ivoire. Cas de village de Petit Badien, S/P Dabou. Mémoire de DEA, 47P.
- [9] Coulibaly O., 2009. L'effet du compost à base des ordures ménagères enrichi à l'urine humaine sur la productivité de la tomate dans le village de N'Djinina commune de Guegnéka, cercle de Dioïla, Région de Koulikoro au Mali, Mémoire de DEA, 85p.
- [10] Coulibaly O., 2000. Effet des ordures ménagères compostées ou non sur la production du sorgho dans les conditions agro-écologiques de Katibougou, Diplôme d'ingénieur agronome, Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA), 81 p.
- [11] Dembélé SG., 2004. L'impact de l'urine sur la productivité du coton dans les conditions écologiques de l'IPR/IFRA de Katibougou. Rapport du premier forum sur la recherche au

- sein du réseau CREPA, Ouagadougou 6-10 Décembre 2004, P. 11.
- [12] Delwendé IK., 2005. Valorisation agronomique des excréta humains: utilisation des urines et fèces humains pour la production de l'Aubergine (*Solanum melongena*) et du Maïs (*Zea mays*) dans la zone Centre du Burkina Faso. Mémoire de Fin d'Etudes, 58p.
 - [13] Niang Y., 2004. « Amélioration de rendement de la tomate par l'utilisation des urines comme source de fertilisation », Rapport du premier forum du réseau CREPA: P. 35 -36.
 - [14] Projet ECOSAN_UE., Ouagadougou, 2009. Document de capitalisation des activités du projet ECOSAN_UE, 104 p.
 - [15] Ouédraogo E., Mando A., Brussaard L et Stroosnijder L., 2007. Tillage and fertility management effects on soil organic matter and Sorghum yield in semi-arid West Africa. *Soil and Tillage Research* 94, 64-74.
 - [16] Ouédraogo E., Mando A., ZombréNP., 2001. Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. *Agriculture–Ecosystems and Environment* 84, 259-266.
 - [17] SAAR., 1986. Document de synthèse sur la fertilisation minérale et organique du mil au Sénégal. 11p.
 - [18] Sedogo PM., 1981. Contribution à la valorisation des résidus culturels en sol ferrugineux et sous climat tropical. (Matière organique du sol et nutrition azotée des cultures). Thèse d'Université, agronomie, Lorraine, France, 195p.
 - [19] Sedogo PM., 1993. Evolution des sols ferrugineux lessivés sous cultures: incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse de Doctorat Es-Sciences. Université Nationale de Côte d'Ivoire, 295P.
 - [20] Segda Z., Yameaogo LP., Bonzi M., Sedogo MP., 2014. Le carbone et l'azote dans les différentes fractions granulométriques d'un sol brun eutrophe tropical sous irrigation de Bagré au Burkina Faso: effets de modes d'apports différents de matières organiques et minérales. *Journal of Applied Biosciences* 78 :6743-6752.
 - [21] Stoorvogel J J. et Smaling E, 1990. Assessment of soil nutrient depletion in Sub-saharan Africa, 1983-2000. Vol.1 Main Report 28, DLO. The Winang Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research (SC.DLO), Wageningen, the Netherlands, 137p.
 - [22] Surenda KP., Jarmo KH and Helvi H T., 2009. Stored human urine supplemented with wood ash as fertilizer in tomato (*Solanum lycopersicum*) cultivation and its impacts on fruit yield and quality. *J. Agric.Food Chem.*, 57 (16), pp 7612 -7617.

Efficacité économique du tourteau de pourghère (*JATROPHA CURCAS*) en qualité de fertilisant pour le maïs (*ZEA MAYS*) dans la région de Koulikoro au Mali

Alou COULIBALY^{1*}, Jacob COULIBALY², Issiaka KEITA¹, Fafré SAMAKE¹

^{1*} Département des Sciences et Techniques Agricoles, Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée, Katibougou

² Département des Sciences Economiques et Sociales, Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée, Katibougou

^{1*} Adresse de correspondance: coulibalynalou@gmail.com

RESUME: Cette étude conduite à l'IPR/IFRA de Katibougou consistait à évaluer l'efficacité économique du tourteau de pourghère utilisé comme fertilisant dans la culture du maïs. L'expérimentation a été conduite en blocs de Fisher avec 5 traitements en quatre répétitions. Le logiciel STATITCF a été utilisé pour l'analyse de variance et le Test de Student- Newman -Keuls au seuil de 5% pour la comparaison des moyennes. Pour l'analyse économique, la méthode du budget partiel a été utilisée. Les résultats obtenus pour le rendement grain montrent une différence hautement significative entre les traitements fertilisés et le témoin. L'analyse économique montre qu'à la récolte, seul le tourteau apporté à 2,5t/ha a un RVC supérieur à 2 (seuil de rentabilité retenu par la FAO). A la période de soudure, tous les niveaux de fertilisation ont un RVC supérieur 2. Cependant le tourteau de pourghère apporté à 2,5t/ha a le RVC le plus élevé à cette période (RVC= 6,87).

Mots clés: pourghère, maïs, rendement, rentabilité économique.

I. INTRODUCTION

L'huile du pourghère (*Jatropha curcas*) est largement utilisée dans plusieurs localités du Mali comme substitut du gaz-oil (Henning *et al.*, 1994; Notes CA, 2002; ARCADE, 2011). Cependant, plus de 85% de la biomasse des graines de *Jatropha* ne sont pas utilisés pour produire du biocarburant (Devappa *et al.* 2010). Il s'agit des tourteaux et des coques dont l'élimination et/ou la valorisation sont essentielles. Actuellement la solution la plus couramment envisagée pour la valorisation du tourteau de pourghère est son utilisation comme fertilisant agricole. Plusieurs auteurs ont montré la teneur élevée du tourteau en N, P & K et en micronutriments (Samaké *et al.*, 1996; Henning *et al.*, 1995 ; chang *et al.*, 1996; Wang *et al.* 2013 ; Henning *et al.*, 1994; Bazongo, 2011; Samaké, 1996). Son utilisation pourrait contribuer à réduire des problèmes environnementaux liés à la gestion des déchets solides résultant de la production de l'huile de Pourghère, mais aussi répondre en partie à la problématique de gestion de la fertilité des sols, un enjeu majeur en Afrique sub-saharienne. Plusieurs travaux ont montré un effet positif du tourteau de Poughère sur le rendement de diverses spéculations. Par contre, peu de données existent sur l'efficacité économique du tourteau de Pourghère en qualité de fertilisant, or, la rentabilité d'une technologie est un facteur très important dans

la décision d'adoption de cette technologie et les paysans raisonnant eux-mêmes en terme de coût.

II. OBJECTIFS

2.1. Objectif général

L'objectif général de cette étude était d'évaluer l'efficacité économique du tourteau de pourghère en qualité de fertilisant agricole.

2.2. Objectifs spécifiques

Il s'agissait spécifiquement de déterminer l'impact du tourteau de pourghère sur le rendement du maïs et d'établir la rentabilité économique du tourteau de pourghère en qualité de fertilisant pour le maïs.

III. MATERIEL ET METHODES

3.1. Matériel

3.1.1. Site d'étude

Les essais ont été conduits à Katibougou/Koulikoro (2ème région administrative du Mali), situé à 70 km de Bamako. Ses coordonnées géographiques sont les suivantes: 12°56 N; 7°32 O, 326 m d'altitude et se trouve sur l'isohyète 900mm. Le climat est de type sahélo-soudanien. Les sols ferrugineux tropicaux lessivés à texture limoneuse sur tout le profil. La végétation est essentiellement composée d'espèces ligneuses, dont les principales sont: Cesalpiniaceae; Combretaceae; Meliaceae Mimosaceae; Rhamnaceae; Sapotaceae; Sterculiaceae.

3.1.2. Matériel végétal

La variété Dembanyuma de CRRA Sotuba du maïs a été utilisée. Son cycle végétatif varie de 95 à 100 jours; elle se cultive dans les zones avec une pluviométrie annuelle supérieure ou égale à 800 mm, répartie en 100 -120 jours.

3.1.3. Les fertilisant utilisés

- Complexe céréale (17-17-17);
- Urée (46% N);
- Tourteau de Pourghère (3,29 -1,30 – 0,82- 1,70 Ca – 1,40 Mg).

3.2. Méthodes

3.2.1. Dispositif expérimental:

Le dispositif expérimental utilisé était un bloc de Fisher avec 5 traitements à 4 répétitions. Les blocs étaient distants de 2 m. Les parcelles élémentaires étaient séparées les unes des autres par 1,5 m. Chaque parcelle mesurait 4 m x 3,2 m et comportait 4 lignes de 8 poquets. Les écartements de semis étaient de 0,80m x 0,50m.

3.2.2. Facteur étudié et traitements:

Le facteur étudié était la fertilisation à 5 niveaux (T1: sans fertilisant; T2: Fumure minérale vulgarisée: 100 kg.ha⁻¹ de complexe céréale + 150 kg.ha⁻¹ d'urée; T3 : 5000kg.ha⁻¹ de tourteau de pourghère; T4 : 2500 kg.ha⁻¹ de tourteau de pourghère/ha ; T5 : 50kg.ha⁻¹ de complexe céréale + 75kg.ha⁻¹ d'urée + 2500kg.ha⁻¹ de tourteau de pourghère).

La dose 5000 kg.ha⁻¹ du tourteau a été prise en s'inspirant de la dose de la fumure organique vulgarisée sous le maïs au Mali.

3.2.4. Conduite de l'essai

Le champ expérimental a été labouré à la charrue à soc avec traction animale à une profondeur de 15 cm. Le Complexe céréale a été apportée 15 jours après le semis, après le sarclage. L'urée a été apportée deux fois (le 1/3 de la dose au semis et les 2/3 sont 30 jours après semis). Ces deux fertilisants ont été apportés dans des sillons réalisés à la daba le long des lignes de semis puis recouverts de terre. Le tourteau de pourghère a été épandu sur le sol labouré deux semaines avant le semis, suivi d'un enfouissement à la daba.

Les variables mesurées étaient le rendement grains par hectare et la rentabilité économique des différentes formules de fumure utilisées.

3.2.5. Collecte et analyse des données de l'essai

Pour la comparaison agronomique des effets moyens des traitements, le rendement grains a été évalué à la fin de l'essai dans une surface utile de 3 mx 1,6m. Pour cela, tous les plants de chaque parcelle utile sont récoltés, puis séchés. Les épis sont séparés des tiges puis ceux-ci sont séchés au laboratoire à la température ambiante pendant trois (3) semaines. Ensuite, ils sont égrenés et les graines sont pesées.

Les données de la parcelle utile ont été ensuite extrapolées afin de déterminer les rendements en grains par hectare. Les rendements obtenus ont faits

l'objet d'analyse de variance, à l'aide du logiciel STATITCF et le Test de Student-Newman -Keuls au seuil de 5% pour la comparaison des moyennes.

Pour déterminer la rentabilité économique des différentes formules de fumure, la méthode du budget partiel a été utilisée, qui a consisté à comparer les revenus et les coûts supplémentaires. Pour cela, les grandeurs économiques (revenu net: RN, ratio valeur coût: RVC et taux de rentabilité: TR) ont été utilisées et les formules ci-dessous ont été appliquées pour les calculs:

$$RN = S_R \text{ (ou VAP)} - D_P \text{ (ou coûts);}$$

$$RVC = S_R \text{ ou VAP} / D_P \text{ ou C}$$

$$TR, (\%) = (RN / D_P \text{ ou C}) \times 100$$

S_R: valeur du surplus de récolte; VAP: valeur de l'augmentation de production; D_P =C: surplus de dépenses productives ou encore coûts de l'engrais.

S_R est composé de la valeur de récolte principale et de récolte secondaire. Sa valeur est estimée selon le prix de réalisation;

D_P =C est composé du prix d'achat, de transport et d'épandage des fertilisants.

Le prix du kg de maïs est obtenu de l'Observatoire du Marché Agricole (OMA) du Mali, 2010: 65-75 F CFA à la récolte et 160 et 200 F CFA à la période de soudure.

Le coût des engrais minéraux est calculé en considérant le prix du marché pratiqué par les fournisseurs d'intrants (18000 F pour le sac de 50 kg de NPK 15-15-15 et 14000 F pour l'urée) donc non subventionné par l'Etat.

Le prix de cession du tourteau de pourghère fixé par la Fondation Mali Biocarburant, 2010 (15 F CFA par Kg) a servi de référence pour les calculs.

Les prix minimum 65 et 160 F CFA utilisé dans les calculs, afin d'être sûr que le paysan pourra vendre son maïs.

Les données obtenues par calculs ont été comparés au seuil de rentabilité fixé par la FAO. Selon la FAO, 1980, citée par Sokpoh, 1997; Agate, 1999; Kelly et al, 2000, la valeur minimale du RVC relatif à l'utilisation des engrais minéraux en Afrique comme indicateur de rentabilité est 2. Cette valeur est le seuil en dessous duquel le revenu brut de l'utilisation de l'engrais n'est plus suffisant pour couvrir les coûts d'achat de l'engrais et les autres coûts afférant à son utilisation.

IV. RESULTATS

4.1. Rendement grains

Le tableau 1 illustre l'influence de la fertilisation sur le rendement grain du maïs. L'analyse statistique a révélé une différence hautement significative entre les traitements ayant reçus les fertilisants et le témoin, mais pas entre les traitements fertilisés.

Tableau 1: Rendements grains (en t/ha)

Traitements	Rendements, kg.ha ⁻¹
T1	460 B
T2	2500 A
T3	2310 A
T4	2070 A
T5	2100 A
Moyenne générale	1890
CV, %	22
Signification	HS

PPDS	436

4.2. Rentabilité économique:

Les résultats de l'analyse économique effectuée à la récolte et à la période de soudure sont consignés respectivement dans les tableaux 3 et 4.

Tableau 3: Valeurs des grandeurs économiques obtenues à la récolte

Traitements	Augmentation par rapport au témoin (Kg.ha ⁻¹)	Valeur de l'augmentation de la récolte, F CFA	Coût des engrais, (F CFA)	RN (F CFA)	RVC	TR (%)
T1	-	-	-			
T2	2040	132000	78000	54000	1,69	69,00
T3	1850	120250	75000	45250	1,60	60,00
T4	1610	104650	37500	67150	2,79	179,00
T5	1640	106600	76500	30100	1,39	39,00

Tableau 4: Valeurs de grandeurs économiques obtenues à la période de soudure.

Traitements	Augmentation par rapport au témoin (Kg.ha ⁻¹)	Valeur de l'augmentation de la récolte, F CFA	Coût des engrais, (FCFA)	RN, (FCFA)	RVC	TR, (%)
T1	-	-	-	-	-	-
T2	2040	326400	78000	248400	4,18	318,00
T3	1850	296000	75000	221000	3,95	295,00
T4	1610	257600	37500	220100	6,87	587,00
T5	1640	262400	76500	185900	3,43	243,00

A partir des résultats du tableau 3, on constate qu'à la récolte, seulement le tourteau de pourghère apporté à 2500 kg.ha⁻¹ a un ratio supérieur à 2. La vente des produits à 3 mois ou plus après la récolte a permis d'améliorer les ratios valeur sur coût. Toutes les formes et les formules de fumures ont un ratio supérieur à 2.

En somme, quel que soit la période de vente, le tourteau de Pourghère apporté à 2500 kg.ha⁻¹ a le ratio le plus élevé soit respectivement 2,79 et 6,87 à la récolte et à la période de soudure. Il est suivi par la fumure minérale vulgarisée.

V. DISCUSSION

L'observation portée sur le rendement grains signale une réponse significative du maïs à l'apport des engrais. L'existence de différence non significative entre la fumure minérale et le tourteau du pourghère est vrai semblablement liée à la rapide minéralisation du tourteau approvisionnant les plantes en nutriments équivalents à ceux de la fumure minérale, comme ont signalé Sangaré (1989) et Samake (1996) dans leurs travaux. Ces résultats confirment ceux obtenus par plusieurs auteurs, notamment Domergue et Pirot, 2008; Chaturvedi *et al.*, 2009; Singh *et al.*, 2013; Sangaré, 1989; Projet ARCADE 2011; Traoré

et al., 2012; Traoré, 1996; Imboclen, 2010; Tréboux, 2013; Bazongo, 2011; Latapie, 2007; Barbier *et al.*, 2012, qui mettent tous en évidence l'effet positif du tourteau sur le rendement de diverses spéculations comme le maïs, le mil, le coton, le sorgho, etc.

A la récolte, le bas prix du kilogramme de maïs serait en rapport avec l'abondance du produit sur le marché, ce qui aurait ainsi occasionné l'obtention des faibles valeurs des grandeurs économiques. Quelques mois après la récolte, le prix a presque triplé, ce serait en grande partie lié à la rareté du produit sur le marché, occasionnant par la suite l'obtention des valeurs économiques dépassant largement le seuil de rentabilité fixé par la FAO.

VI. CONCLUSION

L'expérimentation a montré que la fertilisation améliore de manière significative le rendement en grains du maïs. Au vu des résultats obtenus, nous pouvons conclure que le tourteau de pourghère, à l'état actuel, dans la zone d'étude, pourrait être un bon fertilisant agricole au même titre que la fumure minérale vulgarisée sous le maïs, car les calculs statistiques ne révèlent pas de différence entre les rendements grains.

Il ressort également de l'analyse économique que, dans le contexte de notre étude, l'utilisation des engrais est rentable si le paysan accepte de ne pas vendre le maïs aussitôt après la récolte.

Par ailleurs, le tourteau de pourghère apporté à 2500 kg.ha⁻¹ est économiquement plus rentable que toutes les autres formules d'engrais. Ces RVC couvrent largement les dépenses liées à son utilisation quel que soit la période de vente des grains du maïs (RVC= 2,79 à la récolte et 6,87 à la soudure) comparativement à la fumure minérale vulgarisée (RVC=1,69 à la récolte et 4,18 à la soudure).

RÉFÉRENCES

- [1] Agate, A. A. 1999. Effet d'une fertilisation azotée et phosphatée sur la production d'une «association maïs-mucuna», Mémoire d'Ingénieur Agronome, UB-ESA, Lomé, 75 p.
- [2] Barbier J., Cissao M., Cissé C., Loch F., Grand C., 2012. «Projet: validation du système Jatropha en milieu rural sénégalais». Intérêts de mettre en place une filière courte basée sur la culture du Jatropha (*Jatropha curcas* L) dans la communauté rurale de Dialacoto, p 71 et 72.
- [3] Bazongo PI, 2011. Introduction du Jatropha curcas dans les exploitations de la zone ouest du Burkina Faso/Etat des lieux et Effet de la plante sur les propriétés chimiques des sols et les cultures associées. Mémoire de DEA, Institut de Développement Rural (IDR), Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UBD), 48p.
- [4] Chandra Pandeya V., Singh K., Shankar Singh J., Kumard A., Singh B., Singh R.P., 2012. *Jatropha curcas*: A potential biofuel plant for sustainable environmental development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16(2012): 2870– 2883.
- [5] Chang C.F., Weng J.-H., Lin K.Y., Liu L.-Y., Yang S.-S. 1996. Phorbol Esters Degradation and Enzyme Production by *Bacillus* using *Jatropha* Seed Cake as Substrate. *International Journal of Environmental Pollution and Remediation*. 2(1).
- [6] Chaturvedi S., Kumar A., Singh B., 2009. Utilizing composted *Jatropha*, neem cake and tobacco waste to sustain garlic yields in indo-gangetic plains. *Journal of Phytology*. 1(6): 353–360.
- [7] FAO 1980. Les engrais et leurs applications, FAO, Rome, 51 p.
- [8] Domergue M. Pirot R., 2008. Rapport de synthèse bibliographique – *Jatropha curcas*. Décembre 2008. Cirad, Agro Generation.
- [9] Devappa K.R., Makkara H.P.S., Beckera K., 2010. *Jatropha* Toxicity -A Review. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*. 13(6): 476-507.
- [10] Fondation Mali Biocarburant, 2010. Agriculture, Population, Énergie renouvelable. Ministère de l'agriculture -Mali, Mali Biocarburant, 17 p.
- [11] Henning R., Sidibé Y., Sanankoua O., 1994. «Mali. Projet Pourghère. Production et utilisation de l'huile végétale comme carburant », rapport intermédiaire, Bamako, 25 p.
- [12] Henning R., Samake F. & Thiero I., 1995. The nutrient value of *Jatropha* meal. Bamako, Mali. Projet Pourghère DNHE-GTZ.
- [13] Imboclen R., 2010. Rapport d'activités, section Suisse au Mali. ONG AVD-DELTA, 15 p.
- [14] Kelly V., Murekezi A., 2000. Réponse et rentabilité des engrais au Rwanda. Synthèse des résultats des études du MINAGRI menées par le Food Security Research Project (FSRP) et l'Initiative sur la Fertilité des Sols de la FAO. P. 7.
- [15] Latapie R., 2007. La culture de Pourghère: une activité génératrice de revenus qui permet de faire face aux enjeux énergétiques du Mali. Le cas du Projet Garalo Bagani Yelen, Mémoire de Master 2, Faculté des Sciences économiques de l'Université de Rennes I, 104 p.
- [16] Notes sur les connaissances Autochtones (Notes CA), 2002. Utilisation des savoirs locaux sur le jatropha: Utilisation de l'huile de *Jatropha curcas* comme matière première et carburant, N°47.
- [17] Observatoire du Marché Agricole (OMA) du Mali, 2010. Prix des denrées alimentaires. Ministère de l'agriculture-Mali, 15 p.
- [18] Projet ARCADE, 2011. Développement local et gestion intégrée de l'huile de pourghère au Mali, 4p.
- [19] Samake. F., Henning. R., Thioro.B, 1996. La valeur fertilisante du tourteau de pourghère. Bamako, Mali. Projet Pourghère DNHE-GTZ.
- [20] Samaké, F, 1996. Valorisation du tourteau de pourghère comme engrais sur le coton, unpublished, project report, projet pourghère, Mali, 30 pages.
- [21] Sangaré A., 1989. Contribution à l'étude de l'utilisation du tourteau de Pourghère comme engrais organique. Mémoire de fin d'étude. Inst. polytech. rural Katibougou, Mali, 45 pages.

- [22] Sangaré A., 1989. Etude de minéralisation du tourteau de Pourghère. Mémoire de fin d'étude. Inst. polytech. rural Katibougou, Mali, 50 pages.
- [23] Singh S.S., Varun Gupta V., Sharma A.K., 1996. Role of physic nut (*Jatropha curcas*) Deoiled Cake Based Composts in Sustainable Growth of *Brassica campestris* Under Water Deficit: An ecofriendly approach. *Annals of plant Sciences*. 2(11): 466-473.
- [24] SOKPOH, G 1997. Impact de la dévaluation du franc CFA sur l'utilisation des engrais minéraux et nouvelles stratégies de fertilisation des sols au Togo, Mémoire d'Ingénieur Agronome, UBESA, Lomé, 93 p.
- [25] Traore M., Bismarck Nacro H., Tabo R., Nikiema A., Ousmane H., 2012. Potential for agronomical enhancement of millet yield via *Jatropha curcas* oilcake fertilizer amendment using placed application technique. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6(2): 808-819.
- [26] Traoré L., 1996. Détermination d'une dose optimale de tourteau de pourghère sur les céréales (cas du maïs). Mémoire de fin de cycle, IPR, 45 pages.
- [27] Tréboux M., 2012. Le point sur le tourteau de jatropha, quelles pistes pour sa valorisation, 3p.
- [28] Wang X.-H., Ou L., Fu L.-L., Zhenga S., Lou J.-D., Gomes-Laranjo J., Li J., Zhang C., 2013. Detoxification of *Jatropha curcas* kernel cake by a novel *Streptomyces fimicarius* strain. *Journal of Hazardous Materials*. 260(2013) : 238– 246.

Croissance de *Moringa oleifera* Lam et production de poudre de feuilles à l'IPR/IFRA de Katibougou

Coulibaly Hawa DEMBÉLÉ^{1*}, Bakary M. TRAORÉ¹, Sidiki G. DEMBÉLÉ¹ et Tièma NIARÉ¹
Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou (IPR/IFRA)

*Adresse de correspondance : coulibhawa@yahoo.fr

RÉSUMÉ: *Moringa oleifera* Lam présente de nombreuses vertus qui en font un arbre aux multiples usages. Sa culture a été réalisée à l'IPR de Katibougou du 1^{er} août 2015 au 17 janvier 2016 dans la perspective d'étudier l'influence de différents facteurs sur sa croissance et sa production de feuilles.

L'essai a été conduit en split plot à deux répétitions. Trois facteurs ont été étudiés : la source d'eau d'arrosage (vidange des bassins piscicoles et puits), la hauteur de coupe (sans coupe (C0), coupe à 30 cm du sol (C30) et coupe à 50 cm du sol (C50)) et la fréquence de coupe (tous les 15 jours (F15), tous les 30 jours (F30) et tous les 45 jours (F45)).

Les mesures de croissance des plants ont porté sur le diamètre au collet (dc) et le nombre de ramifications (Nr). Les feuilles fraîches récoltées selon les niveaux des différents facteurs ont été pesées (au g près). Après séchage, elles ont été transformées en poudre. Le poids de la poudre a été consigné. Les données collectées ont été analysées avec le logiciel XLSTAT 2007.

Les différents facteurs testés et leur interaction (source d'eau d'arrosage, hauteurs et fréquence de coupe) ont une influence significative ($p < 0,05$) sur les variables mesurées. Les plants arrosés avec l'eau de vidange de la tilapiaculture ont eu une croissance radiale significative ($p < 0,05$) ($1,28 \pm 0,59$ vs $0,99 \pm 0,59$ cm pour le diamètre au collet), et ont produit plus de ramifications ($3,13^a$ vs $2,52^b$).

Le développement du diamètre au collet est surtout favorisé lorsqu'il n'y a pas de coupe (C0) ou avec des coupes à 50 cm du sol (C50) pour des fréquences de coupe supérieures ou égales à 30 jours. Les ramifications sont en revanche stimulées par des coupes mais à des fréquences bimensuelles.

Les productions de feuilles et de poudre ont été significativement plus importantes avec des plants arrosés avec l'eau de vidange des bassins piscicoles, non coupés et récoltés tous les 45 jours ($3483, 750^a$ g et $572,00^a$ g). La production de feuilles de *Moringa oleifera* intégrée à la pisciculture constitue une véritable symbiose agroforestière.

Mots clés: *Moringa oleifera*, source eau d'arrosage, Hauteurs et fréquences de coupes, croissance radiale, morphogenèse, production feuilles et poudre, agroforesterie.

I. INTRODUCTION

Moringa oleifera Lam. (Synonyme : *Moringa pterygosperma* Gaertner) appelée encore ben ailé, arbre au radis de cheval, noix de behen, moringa ou moringa appartient à la famille monogénérique des arbustes et arbres des Moringaceae qui comprend environ 13 espèces (Fuglie, 2002). La plante est originaire du Nord-Ouest de l'Inde et répandue dans les tropiques. Il est connu sous le nom vernaculaire « Bassi gnoukou gnirini » au Mali. Traditionnellement l'arbre est utilisé à des fins médicinales et alimentaires (Anwar et al., 2007). Depuis quelques temps, l'industrie pharmaceutique et cosmétique y voit des perspectives de croissance intéressantes (Fuglie, 2002). Il est qualifié « d'arbre de vie », « d'arbre miracle » ou « plante divine ». La riche composition de ses feuilles, notamment en vitamine A et C en fait un aliment de qualité pour les populations locales et pour les animaux d'élevage (Moringanews, 2006). Les feuilles de *Moringa* ont des teneurs élevées en protéines (15-30 %), en lipides (5-6 %, jusqu'à 10 % de MS) avec une proportion importante (33 à 45 %) d'acide α-

linoléique (C18 : 3n-3) (Moyo et al., 2011) et en fibres (8-30 %). Elles contiennent des niveaux élevés de minéraux (environ 10%), en particulier Ca et Fe et des quantités élevées d'un large éventail de vitamines : β-carotène, acide ascorbique, la vitamine B1, B6 et de niacine (Price, 2007) ainsi que des flavonoïdes (quercétine et kaempférol) qui sont connus pour être des antioxydants plus puissants que l'acide ascorbique (Yang et al., 2006 ; Makkar et al., 2007). Les feuilles de *Moringa oleifera* sont utilisées dans certaines régions pour compléter l'alimentation des personnes séropositives (CTA, 2001). Les graines de *Moringa oleifera* ont la capacité de purifier l'eau, le miel et le lait. Les fleurs, racines, l'écorce sont utilisées pour des besoins précieux de l'homme.

L'énorme richesse de cette plante explique son utilisation diverse et variée, d'où la hausse de la demande de ses produits. Celle-ci alimente cependant les préoccupations quant aux répercussions découlant de la récolte en milieu sauvage et sur des arbres isolés. Les utilisateurs des produits sont préoccupés par la qualité des ingrédients sur le marché et par la régularité de

l'approvisionnement. L'information fiable et pratique sur les méthodes agricoles se fait rare et est souvent inadaptée à une foule de contextes et d'endroits.

Au Mali, la plante a été introduite dans notre patrimoine végétal depuis plusieurs décennies. Toutefois, la culture est peu développée et la production de produits comestibles reste faible. L'exploitation de cet arbuste constitue donc une préoccupation écologique liée à la hausse de la demande. C'est pourquoi cette étude a été conduite dans les conditions édaphiques de Katibougou. L'objectif de cette recherche est d'étudier l'effet de différentes sources d'eau d'arrosage et de différentes hauteurs et fréquences de coupe sur la croissance de *Moringa oleifera* et la production des feuilles et de leur poudre.

II. MATERIEL ET METHODES

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 du 1^{er} Août 2015 au 17 Janvier 2016. Ce site a un sol de texture limoneux fin en surface et limoneux en profondeur avec un pH qui va de fortement à moyennement acide (5,5- 5,75). Le rapport C/N varie de 4,1 en surface à 3,8 en profondeur. Les valeurs des paramètres considérés en comparaison avec les valeurs normatives indiquent un sol de faible potentiel de productivité.

2.2. Conduite de l'essai

L'essai a été conduit avec trois facteurs que sont: un facteur principal (sources d'eau d'arrosage: bassins de pisciculture et puits), un facteur secondaire (hauteurs de coupes à trois niveaux de variation: sans coupe, à 30 et à 50 cm du sol) et un facteur tertiaire (fréquences de coupes avec trois niveaux également: 15 jours, 30 jours et 45 jours). La combinaison des niveaux de variations des trois facteurs étudiés donne 18 traitements. L'essai est ainsi conduit dans un dispositif en split plot à deux répétitions.

Les parcelles expérimentales ont été labourées et le sol nivelé manuellement à la daba. Trente six parcelles élémentaires de huit (8) m² ont été aménagées et installées. Les écartements entre les lignes de semis étaient de 50 cm x 40 cm. Chaque facteur principal occupait une superficie de 144 m². Un espace de 2 m de large séparait les deux bandes. L'ensemble de l'essai occupait une superficie de 324 m². Les parcelles furent entretenues en désherbant une fois par mois, en arrosant au besoin, en appliquant du compost après 45 jours de croissance à un taux de 10 tonnes/ha. L'extrait de feuilles de Neem fut utilisé contre les attaques des insectes au besoin. Le dispositif était protégé contre

les animaux et gardé contre les personnes mal intentionnées.

Les plants ont été laissés libres de croître pendant soixante-quinze (75) jours afin que le système racinaire ait le temps de se développer suffisamment pour tolérer le choc de la première récolte d'une part et pour qu'au moins 80 % des plants mesure plus de 50 cm de hauteur. C'est alors qu'a eu lieu la première coupe dite coupe d'uniformisation. Les coupes ultérieures de feuilles ont été programmées selon le facteur «Fréquences de coupes»: tous les 15 jours, 30 jours et 45 jours. Les pousses étaient récoltées manuellement avec un sécateur en coupant les branches à 30 cm et 50 cm du sol pour les plants étêtés. Les plants non coupés (C0) étaient defeuillés à l'exception des trois dernières feuilles.

2.3. Collecte des données

La mesure de croissance réalisée sur les plants a porté sur le diamètre au collet (dc), mesuré au cm près à l'aide d'un pied à coulisse. Le nombre de ramifications (Nr) a été également déterminé. Ces mesures ont été faites sur la ligne centrale de chaque parcelle.

Les rameaux portant les feuilles ont été défoliés. Pour toutes les coupes, les feuilles ont été subséquemment triées, pesées (au g près) à l'aide d'une balance électronique et étalées de façon homogène sur des tapis en plastic à la température ambiante pendant 72 heures pour séchage. Elles ont ultérieurement été exposées au soleil pendant deux heures avant d'être pilées au mortier. L'avantage du séchage d'après Bello (2010) permet de réduire ou d'éliminer d'éventuels facteurs toxiques thermolabiles présents dans les feuilles.

Les feuilles sèches ont été pilées, tamisées (à l'aide d'un tamis à maille de 4 mm de diamètre), transformées en poudre. La poudre ainsi obtenue a été pesée (au mg près) et conservée dans des seaux.

2.4. Traitement des données

L'ensemble des données collectées a été saisi dans un tableur Excel et les analyses statistiques (ANOVA) ont été réalisées avec le logiciel XLStat 2007. Le test de Newman et Kheul au seuil de probabilité de 5 % a été utilisé pour la comparaison des moyennes.

III. RÉSULTATS

3.1. Croissance radiale et développement des ramifications

a. Effet de la source de l'eau d'arrosage

L'eau de vidange des bassins piscicoles a engendré une croissance significativement supérieure à celle des plants des parcelles arrosées avec l'eau du puits aussi bien pour le diamètre au collet ($1,28^a \pm 0,59$ cm vs $0,99^b \pm 0,59$ cm) que pour le nombre de

ramifications ($3,13^a \pm 0,52$ vs $2,52^b \pm 0,00$) (figure 1).

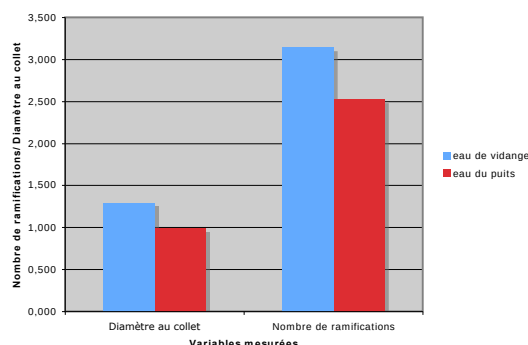


Figure 1. Diamètre au collet (en cm) et nombre de ramifications selon les sources d'eau d'arrosage

La figure 2 présente l'évolution du diamètre au collet en fonction des deux sources de l'eau d'arrosage sur les plants. Il ressort que trois mois après le semis, les plants arrosés avec l'eau de vidange présentent une meilleure croissance du diamètre au collet. Cet écart s'amplifie avec l'âge des plants. Arrosés avec l'eau de vidange, le diamètre des plants a varié de $0,72 \pm 0,13$ cm (à 3 mois) à $2,07 \pm 0,13$ cm (à la fin de l'expérience) contre ($0,58 \pm 0,05$ cm et $1,13 \pm 0,05$ cm) pour les plants irrigués avec l'eau du puits.

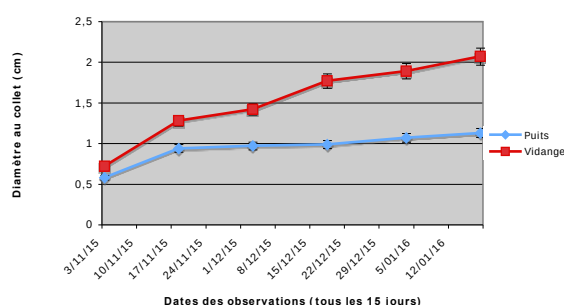


Figure 2. Évolution du diamètre moyen des plants de *Moringa oleifera* en fonction des sources de l'eau d'arrosage à différentes dates d'observation

b. Effet de la hauteur de coupe

La figure 3 présente la variation du diamètre au collet et le nombre de ramifications des plants de *Moringa oleifera* en fonction de la hauteur de coupe. Il en découle que les hauteurs de coupe (C50 et C0) ont permis d'avoir des plants aux diamètres au collet significativement supérieurs ($p < 0,05$) à ceux de (C30) ($1,19^a \pm 0,09$ cm et $1,18^a \pm 0,00$ cm) vs ($1,03^b \pm 0,09$ cm). Par contre le nombre de ramifications des plants est de $4,46 \pm 0,52$ (C30) et

$4,00 \pm 0,00$ pour la hauteur de coupe (C50), contre $0,01 \pm 0,52$ pour les plants non coupés (C0). L'absence de coupe ne stimule pas la ramification des pieds.

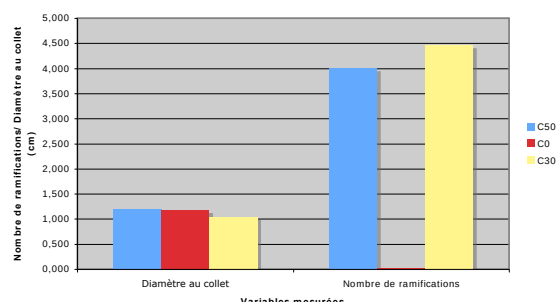


Figure 3. Diamètre au collet (cm) et nombre de ramification selon les hauteurs de coupes

c. Effet de la fréquence de coupe

Les plants coupés tous les 30 (F30) ou 45 45 jours (F45) ont un diamètre au collet significativement supérieur ($p < 0,05$) à ceux des plants coupés tous les 15 jours (F15). Le diamètre des plants est de $1,22 \pm 0,09$ cm (F30), $1,19 \pm 0,00$ cm (F45), contre $1,00 \pm 0,08$ cm pour les plants coupés tous les 15 jours. Par contre, le nombre de ramifications a varié en sens inverse : il est d'autant plus faible que l'intervalle de coupes successives est grand ($3,13 \pm 4,04$ (F15), $2,95 \pm 4,46$ (F30) et $2,39 \pm 0,00$ pour (F45)) (figure 4).

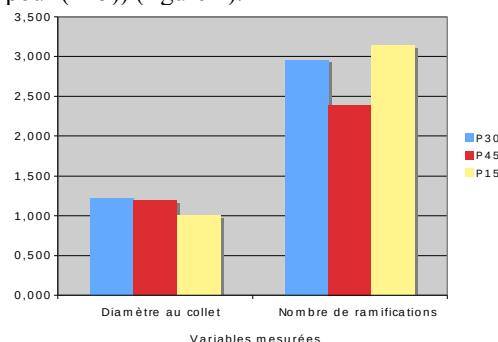


Figure 4. Diamètre au collet (cm) et nombre de ramifications selon les fréquences de coupes.

d. Effets de l'interaction entre les trois facteurs

Les résultats consignés dans le tableau 1 montrent que l'eau de vidange des bassins piscicoles (A) a le plus contribué à la croissance du diamètre au collet de *Moringa* ($1,28^a \pm 0,59$ vs $0,99^b \pm 0,59$ cm) et au développement de ramifications ($3,13^a \pm 0,52$ vs $2,52^b \pm 0,00$), pour toutes les hauteurs de coupe comparativement aux plants des parcelles arrosées avec l'eau du puits (B)

Tableau 1. Effets de l'interaction des facteurs sur le diamètre au collet et le nombre de ramifications des pieds

de *M. oleifera*

Source d'eau d'arrosage	Hauteurs de coupes (cm)	Fréquences de coupes (jours)	Diamètre au collet (cm)	Nombre de ramifications
Eau de vidange	Pas de coupe	15	1,20 ^{bc} ±0,88	0,03 ^d ±0,88
		30	1,53 ^a ±0,97	0,00±0,97
		45	1,53 ^a ±0,00	0,015 ^d ±0,00
	Moyenne « pas de coupe »		1,42±0,19	0,01±0,01
	30	15	0,93 ^{de} ±0,87	5,32 ^a ±0,87
		30	1,24 ^{bc} ±0,97	4,96 ^{ab} ±0,97
		45	1,24 ^{abc} ±0,00	4,62 ^{ab} ±0,00
	Moyenne « coupe à 30 cm »		1,14±0,17	4,97±0,34
	50	15	1,25 ^{abc} ±0,00	5,31 ^a ±0,00
		30	1,27 ^{abc} ±0,00	4,18 ^b ±0,00
		45	1,36 ^{ab} ±0,00	3,78 ^b ±0,00
	Moyenne « coupe à 50 cm »		1,29±0,05	4,74±0,79
Moyenne « eau de vidange »			1,36±0,07	3,24±2,79
Eau du puits	Pas de coupe	15	0,84 ^{de}	0,00 ^d ±0,00
		30	1,06 ^{cd}	0,02 ^d ±0,00
		45	0,9 ^{de}	0,02 ^d ±0,00
	Moyenne « pas de coupe »		0,94±0,11	0,01±0,01
	30	15	0,81 ^e ±0,00	4,14 ^b ±0,00
		30	0,96 ^{de} ±0,00	4,05 ^b ±0,00
		45	1,01 ^{cde} ±0,00	3,69 ^b ±0,00
	Moyenne « coupe à 30 cm »		0,92±0,10	3,96±0,24
	50	15	0,95 ^{de} ±0,00	4,00 ^b ±0,00
		30	1,26 ^{abc} ±0,00	4,53 ^{ab} ±0,00
		45	1,08 ^{bcd} ±0,00	2,20 ^c ±0,00
	Moyenne « coupe à 50 cm »			1,09±0,15
Moyenne « eau du puits »			0,98±0,09	2,52±2,17
Probabilité			P <0,0001	P <0,0001

NB: Les moyennes affectées d'une même lettre dans la même colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil de probabilité 0,05 par le test de Newman-Keuls.

3.2. Production moyenne de feuilles et de poudre

a. Effet de la source de l'eau d'arrosage

Les résultats de l'étude montrent que les rendements en feuilles fraîches et en poudre des parcelles arrosées avec l'eau des bassins piscicoles sont statistiquement supérieurs respectivement 1702,204^a±314 g et 254,343^a±45,791 g que ceux des parcelles arrosées avec l'eau du puits qui sont de 735,963^b±0,00 et 117,407^b±0,00 g. (figure 5).

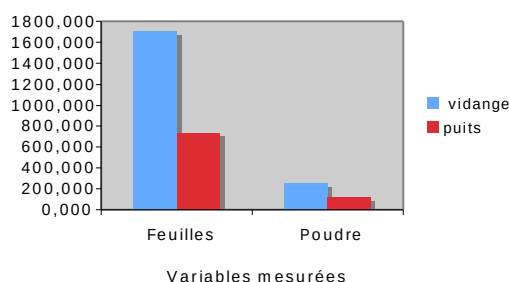


figure 5. Productions de feuilles et de poudre (g)

par source d'arrosage.

b. Effet de la hauteur de coupe

Sans coupe (C0), la production en feuilles est significativement supérieure ($p < 0,05$) à celle des plants coupés à 50 cm (1750,09^a ± 48,51 g vs 1051,95^b ± 0,00 g) ou à 30 cm du sol (855,19^b ± 58,61 g). La production en poudre a varié dans le même sens soit 281,37^a ± 11,95 g (C0), 152,43^b ± 0,00 g (C50) à 123,81^b ± 7,80 g (C30) (figure 6). Plus la hauteur de coupe est basse, plus les productions de feuilles et de poudre sont faibles.

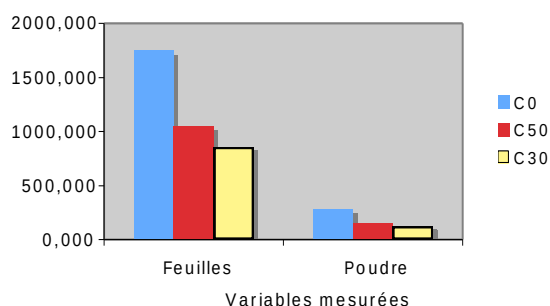


Figure 6. Productions de feuilles et de poudre (g) par hauteur de coupe.

c. Effet de fréquences de coupes

En coupant tous les 45 jours (F45), les plants produisent plus de feuilles fraîches que ceux coupés tous les 30 jours (F30) ou 15 jours (F15) ($1865,41^a \pm 0,00$ vs $1243,80^b \pm 44,17$ g ou $548,02^c \pm 119,40$ g). Ce résultat est statistiquement significatif ($p < 0,05$). Il en est de même pour la production en poudre : $285,583^a \pm 0,00$ g (F45), $195,00^b \pm 5,34$ g (F30) et $77,04^c \pm 17,80$ g (F15). En résumé, ce n'est pas en coupant le plus souvent que l'on a de meilleures productions de feuilles et de poudre. (Figure 7)

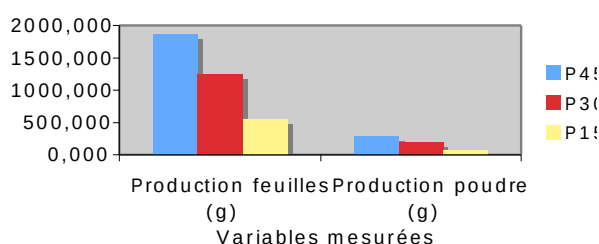


Figure 7. Productions de feuilles et de poudre (g) selon les fréquences de coupes.

d. Effet de l'interaction entre facteurs (eau d'arrosage, niveau de coupe, fréquence de coupe)

L'interaction entre eau d'arrosage, hauteur de coupe et fréquence de coupe a eu un effet hautement significatif sur les productions de feuilles et poudre. La meilleure interaction est réalisée sur les parcelles arrosées avec l'eau de vidange des bassins piscicoles (A) où les plants n'ont pas été coupés (C0) et récoltés à des fréquences de coupe de 45 jours (F45). La biomasse moyenne produite est de $3483,75^a \pm 0,00$ g en feuilles fraîches et $572,00^a \pm 0,00$ g en poudre. La tendance des interactions est portée dans la figure 8.

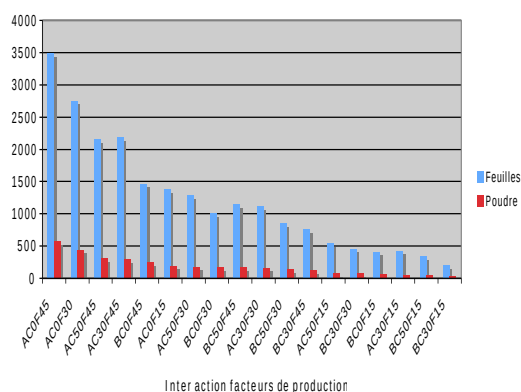


Figure 8. Effets de l'interaction entre les trois facteurs.

IV. DISCUSSION

Effet des sources d'eau d'arrosage sur la croissance et les productions de feuilles et poudre

Les résultats ont montré que l'eau de vidange de la pisciculture a induit une nette amélioration de la croissance du diamètre au collet et du nombre de ramifications des plants. Les productions de feuilles et de poudre sont également meilleures avec l'eau de vidange des bassins de pisciculture qu'avec l'eau du puits. Cette performance peut s'expliquer par le fait que l'eau de vidange renferme les fèces des poissons et les refus d'aliments. Ces différents produits organiques décomposés, ont enrichi le sol en éléments fertilisants (azote). Nos résultats corroborent ceux de Artin et Rice (2002) qui ont montré que sur sol très pauvre et alcalin à Haïti, une fertilisation au compost a rendu la croissance de *Moringa oleifera* impressionnante. De même, les études de Foild et al. (2001), Price (2007) ont montré que la bouse de vache améliorerait la croissance de *Moringa oleifera*. Tedonkeng et al. (2005) ont conclu que l'évolution des paramètres biométriques de croissance de *Moringa* dépend du fertilisant appliqué au sol. D'après leur étude, la fiente de poule à la dose de 125 g/plant, a amélioré de façon quantitative l'accumulation de la biomasse chez *Moringa oleifera* dans l'Ouest Cameroun. Amaglo et al. (2006) renseignent que pour des récoltes continues de feuilles, il faut qu'une fertilisation adéquate soit apportée pour maintenir les rendements et la survie des plants. Les meilleures performances de croissance et de production engendrées sur les parcelles arrosées avec l'eau de vidange des bassins piscicoles sont en accord avec les résultats obtenus au Malawi dans un système dit «l'agropisciculture» où l'eau de vidange est utilisée comme source de fertilisation de légumes pour la consommation familiale (Jamu et Zomba, 2005).

• Effet des niveaux de coupe sur la croissance et les productions de feuilles et poudre

Nos résultats ont montré que les plants non coupés (C0) et coupés à 50 cm du sol (C50) donnent les meilleures croissances et productions de feuilles et poudre par rapport aux coupes plus basses à 30 cm du sol. Cela laisse entrevoir que la taille à 30 cm du sol, bien qu'important dans le développement des ramifications des plants n'a pas un impact aussi important qu'espéré en production de feuilles et de poudre. Nos résultats sont en accord avec ceux de Price (2007) et Larwanou (2003). Selon ces auteurs, on peut effectuer des coupes de 30 cm à 1 m au dessus du sol ou en cueillant directement les feuilles sur l'arbre.

• **Effet de la fréquence de coupe sur la croissance et les productions de feuilles et poudre**

Nos résultats montrent que les récoltes continues (rapprochées) ont un effet dépressif sur la croissance et les productions de feuilles et de poudre de *Moringa* indépendamment du niveau de coupe. Cette pratique est à proscrire dans un système de production durable.

Les fréquences de coupe de 30 ou 45 jours ont donné de meilleures croissances et production de feuilles et de poudre indépendamment de la hauteur de coupe. Ces résultats sont en accord avec ceux de Amaglo et al. (2006) qui recommandent des récoltes tous les 35 jours.

V. CONCLUSION

La croissance radiale et la morphogenèse des pieds de *Moringa oléifera* Lam, en dehors du substratum de culture, dépendent principalement de la qualité des eaux d'arrosage. Les meilleurs résultats obtenus dans cette étude avec l'eau de vidange des bassins de pisciculture montrent bien l'effet bénéfique d'une association agro-forestière. Cet avantage se prolonge jusqu'à la récolte des feuilles et la production de poudre. L'optimum de ces productions est atteint en réalisant des coupes de fréquence supérieure à un mois et à une hauteur d'environ 50 cm du sol.

Bien qu'elle puisse se poursuivre par d'autres recherches plus précises, cette étude confirme la symbiose de l'association tilapiaculture (*O. niloticus* Linné 1758) et culture de *Moringa oléifera* Lam.

REFERENCES

[1] Amaglo N. K., Timpo G. M., Ellis W.O et Bennett R. N. (2006). Effet de l'écartement et la fréquence des récoltes sur la croissance et le rendement en feuilles de *Moringa oleifera* Lam. *Moringa et autres végétaux à fort potentiel nutritionnel : Stratégies, normes et marchés pour un meilleur impact sur la nutrition en Afrique*. Accra, Ghana, 16-18 novembre, pp11.

[2] Anwar, F. et coll. 2007. *Moringa oleifera: A food plant with multiple bio-chemical and medicinal use- a review*. Phytother. Res, 21. pp. 17-25.

[3] Artin M et Rice L P., 2002. The Moringa tree. An Echo Technical Note. Echo staff. 13(38) : 1 - 19.

[4] Bello H., 2010. Essai d'incorporation de la farine de feuilles de *Moringa oleifera* dans l'alimentation chez les poulets indigènes du Sénégal : Effets sur les performances de croissance, les caractéristiques de la carcasse et le résultat économique. Thèse doctorat, École inter États des Sciences et Medecine Vétérinaires Sénégal Dakar 119p.

[5] CTA 2001. Un miracle de la nature. Spore 96. 16 p.

[6] Foidl N, Makkar H P S, Becker K, 2001. The potential of *Moringa oleifera* for agricultural and industrial uses. In: Fuglie L J (editor). The miracle tree: the multiple attributes of *Moringa*. CTA / CWS. Dakar, Sénégal. pp. 45 - 76.

[7] Fuglie, Lowell J. 2002. *L'arbre de la vie. Les multiples usages du Moringa*. Édité par Lowell J. Fugli. Dakar, Sénégal. 177 pages.

[8] Jamu D. et Zomba, 2005. Contribuer à la sécurité alimentaire et nutritionnelle dans un pays à forte densité de population. *Agriculture et développement rural*. ELR_L_agropisciculture_durable_au_Malawi_0205 2p.

[9] Larwanou, M (2003) : Modules de formation sur les technologies agroforestières, dans Recueil de fiches techniques en gestion des ressources naturelles et de productions agrosylvo-pastorales (GRN). Ministère du Développement Agricole du Niger. pp 71-72.

[10] Makkar HPS., Francis G. et Becker K., 2007. Bioactivité des composés phytochimiques dans certaines plantes moins connues et de leurs effets et des applications potentielles dans les systèmes de production d'élevage et de l'aquaculture dans Heuzé V., Tran G., Bastianelli D., Lebas F., Hassoun P., 2015. *Moringa (Moringa oleifera) Feedipedia*, un programme par l'INRA, CIRAD, AFZ et la FAO. *Fiche technique*. <http://www.feedipedia.org/node/124>.

[11] Moringa news. 2009. *Réseau moringa*. Disponible à l'adresse URL suivante. <http://www.moringanews.org/>

[12] Moyo B., Masika PJ., Hugo A. et Muchenje V., 2011. Caractérisation nutritionnelle de *Moringa (Moringa oleifera* Lam) laisse J.

- africaine Biotech*, 10 (60) pp.12925-12933. Dans Heuzé V., Tran G., Bastianelli D., Lebas F., Hassoun P., 2015. Moringa (*Moringa oleifera*) Feedipedia, un programme par l'INRA, CIRAD, AFZ et la FAO. *Fiche technique*.
<http://www.feedipedia.org/node/124>.
- [13] Price M. L., 2007. *Le Moringa*. Dans Note technique- ECHO (revue en 2000, en 2002 et en 2007). Site Internet
<http://www.echonet.org/tropicalag/technotes/Moringa.pdf>.
- [14] Tedonkeng Pamo E., Boukila B., Tendonkeng F., Kana J. R., Tonfack L.B., et Momo M.C.S., 2005. Influence de la fumure organique, du NPK et du mélange des deux fertilisants sur la croissance de *Moringa oleifera* Lam. dans l'Ouest Cameroun. [Livestock Research for Rural Development 17 \(3\) 2005](#).
- [15] Yang R.Y., Chang L.C., Hsu J.C., Weng Brian B.C., Palada Manuel C., Chadha M.L. et Levasseur V., 2006. Propriétés nutritionnelles et fonctionnelles des feuilles de Moringa. -Du germoplasme, à la plante, à l'aliment et à la santé (1-9). Dans : Moringa et autres végétaux à fort potentiel nutritionnel : Stratégies, normes et marchés pour un meilleur impact sur la nutrition en Afrique : 16-18 Novembre, Accra (Ghana) 9p.

Technologies post récoltes et qualités du riz local au Mali

Salimata SIDIBE^{1*}, Aliou COULIBALY¹, Daouda KONE¹, Boubacar MAÏGA¹
Technologue alimentaire, Institut d'Economie Rurale (IER)

*Adresse de correspondance: salimatas3@gmail.com

RESUME: Le riz local présentait un faible rendement au décortilage. Les contraintes du système post récolte sont l'insuffisance de l'utilisation des équipements adéquate, l'insuffisance de l'utilisation de normes techniques au niveau des produits transformés et la qualité inférieure du riz étuvé. Une enquête participative a été conduite dans 26 villages des trois systèmes de production du riz (la maîtrise totale de l'eau, la maîtrise partielle, et la riziculture pluviale). Dans chaque village, les producteurs, les transformateurs et les consommateurs ont donné leur avis sur l'utilisation des équipements de post récolte, la qualité du riz et la pratique de l'étuvage du riz. Le stade de récolte, le rendement au décortilage, les taux de brisure et d'impureté du riz blanchi et ceux du riz étuvé ont été déterminés. Le logiciel SPSS a été utilisé dans l'analyse des données de l'enquête, tandis que les données qualitatives du riz étuvé ont été analysées à l'aide logiciel Agro base. Les résultats de l'enquête ont montré qu'à Niono, le riz était par la majorité des producteurs quand $\frac{3}{4}$ des épis étaient jaune, tandis qu'à Sikasso et Mopti, elle était effectuée lorsque les épis sont totalement jaunes. La majorité des producteurs utilisaient des équipements mécaniques pour le battage du riz à Niono, pendant que seulement 10% l'utilisaient à Sikasso. Les producteurs de Niono avaient le riz comme aliment de base. Les taux de brisure et d'impureté ont variés avec l'équipement de décortilage utilisé. L'étuvage traditionnel était pratiqué à petite échelle. Le riz étuvé n'était pas très attractif et avait une couleur et l'arôme peu appréciés. L'objectif de la recherche était d'évaluer le taux d'utilisation des équipements de post récolte et la qualité du riz blanchi et étuvé dans les systèmes de production au Mali.

Mots clés: post récolte, équipement, qualité, étuvage.

I. INTRODUCTION

Au Mali, le riz est produit dans les systèmes de la maîtrise totale de l'eau en zone Office du Niger (Ségou), dans la maîtrise partielle de l'eau en zone Office Riz (Mopti) et dans les bas-fonds et la riziculture pluviale (Sikasso). Le riz joue un rôle important dans la sécurité alimentaire et occupe la troisième place après les mil, sorgho dans la consommation céréalière. Il intervient comme deuxième source d'énergie alimentaire (Wambo Yamdjeu, 2003). La consommation du riz est en pleine croissance avec une moyenne nationale estimée à 61,46 Kg/habitant/an (CPS, Mali, 2011). Au Mali, la transformation du riz est une opération importante pour le développement de la filière riz. L'accroissement de la productivité et de la compétitivité du secteur, ne peut se faire sans l'utilisation des technologies de récolte et de post-récolte appropriée. Les rendements au décortilage varient très fortement en fonction des variétés, de la qualité de stockage, du taux d'humidité du paddy et de l'état de la décortiqueuse utilisée. La qualité marchande du riz décortiqué est en général moyenne à cause de l'hétérogénéité des lots, des taux de brisures et d'impureté élevé. L'étuvage du paddy était effectué par les femmes suivant la méthode traditionnelle qui contribuait à une dépréciation de la couleur et l'arôme de ce riz étuvé par rapport à celles du riz étuvé importé.

Les variétés à fort taux de brisures sont généralement étuvées par les femmes pour améliorer leur rendement au décortilage. Ce procédé qui consiste en une pré-cuisson du riz paddy préalablement hydraté, permet la gélatinisation de l'amidon qui perd sa structure cristalline pour former des complexes assurant une forte cohésion du grain (Manful, 2009). L'étuvage améliore ainsi le rendement au décortilage en ressoudant les grains clivés, en réduisant le taux de brisure. Il accroît les qualités organoleptiques (fermeté et absence de collant) et nutritionnelles en enrichissant l'amande en vitamines hydrosolubles (vitamines B) et en minéraux initialement concentrés dans le péricarpe (Djoni, 2009, Hounhouigan (2006).

Le but de l'étude était d'évaluer l'utilisation des équipements de post récolte et la qualité du riz blanchi et étuvé issus des systèmes de production rizicole du riz.

II. MATERIEL ET METHODE

2.1. Matériel

- Fiches d'enquête
- Les variétés de riz utilisées dans l'étuvage proviennent des:
 - o **Site de Niono (maîtrise totale de l'eau):** Nionoka, Wassa, Kogoni-91-1
 - o **Site de Sikasso (riziculture pluviale):** Sik-353 A150, NERICA 4, NERICA 12,

o **Site de Mopti (maîtrise partielle de l'eau):**
DM16, Sothassoké, BG 90-2, BH 2

2.2. Méthodes

2.2.1. Enquête sur l'utilisation des équipements de post récolte et la qualité du riz

Une enquête participative a été conduite pour l'administration du guide d'entretien dans 26 villages retenus dans trois systèmes de riziculture que sont la maîtrise totale de l'eau (zone Office du Niger) dans la zone de Niono, la maîtrise partielle (Office Riz Mopti) et les bas-fonds et la riziculture pluviale (Sikasso). L'échantillon enquêté dans chaque zone était composé de producteurs, de transformateurs, et de consommateurs. Dans la zone de Niono 106 personnes ont été retenus, 133 à Sikasso et 70 à Mopti. Les données collectées ont porté sur le stade de récolte du riz, le niveau d'utilisation des équipements lors du battage, du décortiquage et les caractéristiques du riz en fonction des procédés et équipements utilisés.

2.2.2. Amélioration de la qualité du riz étuvé

➤ **Procédé d'étuvage du riz**

Les échantillons de riz (500 grammes) provenant de différentes zones de production ont été étuvés suivant la méthode améliorée d'étuvage. Le paddy lavé est versé dans l'eau chaude à 90°C (trempage) et y est maintenu pendant 18 heures. Les grains ont été lavés, égouttés puis passés à la vapeur pendant 30 minutes (cuisson à la vapeur). Le paddy étuvé a été d'abord étalé à l'ombre pendant 1 heure, ensuite au soleil pendant 5 heures pour le séchage. Le paddy étuvé et séché a été débarrassé de ses enveloppes par décortiquage mécanique. Les taux de brisures et d'absorption d'eau du riz étuvé et non étuvé ont été évalués.

➤ **Evaluation du taux de brisure du riz décortiqué**

Le taux de brisure est obtenu en plaçant 30 g de grains décortiqués dans le tamis de 500 µm superposé sur le réceptacle. Le riz blanchi est tamisé manuellement jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de transfert de grains du tamis au réceptacle. Le taux de brisure est déterminé par rapport au poids de

l'échantillon contenu dans le réceptacle par rapport au poids initial.

➤ **Evaluation du taux d'impureté du riz décortiqué**

Sur un échantillon de 100 g de grains décortiqués (M), les impuretés composées de corps étrangers (pierre, pailles) et des grains non décortiqués (paddy) sont triés manuellement. Soit M1 le poids des impuretés. Le taux d'impureté est le rapport du poids des impuretés par rapport aux grains propres. Il est calculé suivant la formule: $\% \text{ Impureté} = (M1/M) \times 100$.

➤ **Evaluation de l'absorption de l'eau**

La méthodologie a consisté à tamiser 10 g de riz à l'aide d'un tamis de 0,6 mm et à y verser 100 ml d'eau distillée à 45°C. L'échantillon a été laissé au repos dans une enceinte calorifugée pendant 1 heure puis égoutter pendant 5 minutes sur un tamis de 0,5 mm. Le riz égoutté a été essuyé et le poids final évalué (Pf). Le pourcentage d'eau absorbée (PE) est la différence entre le poids final et le poids initial de l'échantillon divisé par le poids initial par rapport à 100 g de la masse initiale.

III. RESULTATS

3.1. Résultats de l'enquête

3.1.1. Stade de récolte du riz paddy

La récolte au stade $\frac{3}{4}$ jaune de l'épi est pratiquée par la majorité des producteurs (68%) à Niono. Par contre à Mopti et à Sikasso, elle est pratiquée au stade épis totalement jaune. Le risque à craindre dans ce dernier cas concerne le séchage excessif des grains et l'égrenage au champ.

Les entretiens avec les producteurs ont fait ressortir que le séchage parfait de l'épi est atteint 5 à 10 jours après la récolte. Dans ces conditions, le battage et le vannage sont faciles et rapides, le rendement est acceptable de même que la qualité commerciale et culinaire des grains. Cependant il faut noter que la qualité grainière dépend aussi des variétés cultivées. La Figure 1 indique le stade de récolte du riz dans les différentes zones de production.

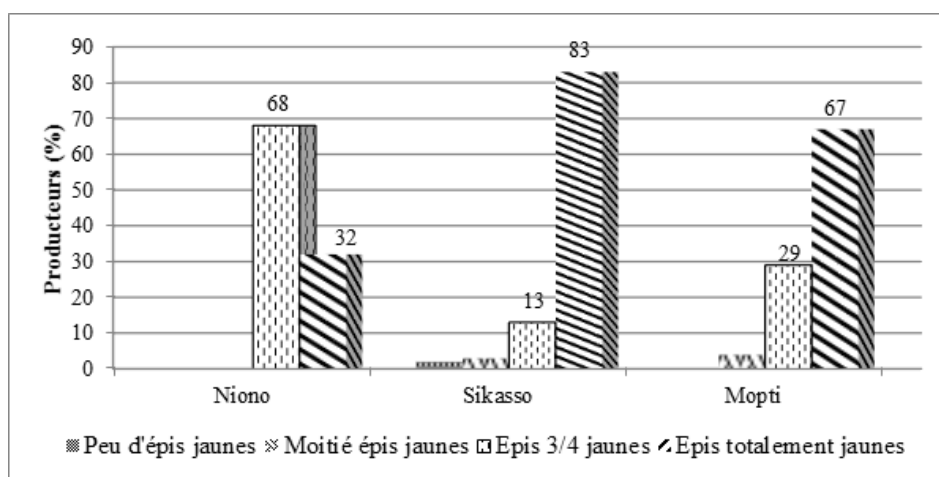


Figure 1: Stade de récolte du riz dans les zones de production

3.1.2. Battage du riz

Le battage du riz est effectué manuellement ou mécaniquement selon le niveau d'équipement du paysan. Les résultats de l'enquête ont montré que le battage manuel n'est pratiqué que par environ 1% des producteurs à Niono. Par contre à Sikasso la majorité des producteurs (88%) le pratique (Tableau 1).

Le battage mécanique est le plus pratiqué dans les zones de production intensive du riz comme à Niono où 100% des producteurs pratiquent le battage mécanique (Tableau 1). A Mopti, 86% le pratiquent tandis qu'à Sikasso, 15% le pratique. Le Tableau 1 indique les taux de pratique du battage manuel et mécanique du riz.

Tableau 1 : Pratique du battage mécanique et manuel dans les trois régions

Régions	Battage manuel (%)			Battage mécanique (%)		
	Pas pratiqué	Peu pratiqué	Très pratiqué	Pas pratiqué	Peu pratiqué	Très pratiqué
Niono	96,3	2,8	0,9	0	0	100
Sikasso	10,3	1,7	88	78	7	15
Mopti	52,7	21,8	25,5	11	3	86

Source: résultats de l'enquête du Projet WAAPP 1A

3.1.3. Décortication mécanique

Les résultats de l'enquête ont montré que le riz est dans la majorité des cas vendu après décortication par l'utilisation de décortiqueuse artisanal mécanisé. Le décortication est réalisé à petite et moyenne échelle à l'aide de décortiqueuse de type Engelberg ou à rouleaux de caoutchouc. La décortiqueuse de type Engelberg était la plus répandue au Mali dans les zones de production (Dramé et al. 2005). Depuis 2008 avec l'initiative riz, on a assisté à l'augmentation du nombre de mini rizeries constituées du model SOCAFON et Chinois. Ces mini rizeries sont équipées de systèmes de nettoyage et de triage du paddy permettant l'amélioration de la qualité du riz (Sidibé et Soufountera, 2013).

3.1.4. Appréciation du rendement du riz décortiqué mécaniquement

Les producteurs ont différemment apprécié le rendement des décortiqueuses. A Niono et Mopti, le rendement de la décortiqueuse mécanique mobile a

été respectivement très bien apprécié par 100% et 69% des producteurs. Par contre à Sikasso, celui de la décortiqueuse mécanique fixe a été très bien apprécié par 60% des producteurs.

3.1.5. Taux de brisure par type de décortication mécanique

Selon l'enquête, la décortiqueuse mobile engendre plus de brisures que la décortiqueuse mécanique fixe. A Niono et à Sikasso, 90% des personnes enquêtées ont indiqué que les taux de brisures sont élevés au niveau de la décortiqueuse mécanique mobile. Par contre à Mopti, la totalité des enquêtés ont indiqué qu'il n'y a pas de brisure dans le riz décortiqué en utilisant la décortiqueuse mécanique fixe. Cette qualité a été confirmée à Niono et Sikasso par plus de 60% des enquêtés.

3.1.6. Taux d'impureté du riz décortiqué par les décortiqueuses mobiles et fixes

Dans tous les sites, l'utilisation des équipements mécaniques de décortication (décortiqueuse mobile et

fixe) n'a pas engendré des taux élevés d'impuretés. Les résultats de l'enquête ont montré, que l'utilisation de la décortiqueuse mécanique fixe (décortiqueur à rouleaux de caoutchouc) produit moins d'impuretés que la décortiqueuse mécanique mobile de type Engelberg.

3.2. Qualité du riz étuvé

3.2.1. Taux de brisure du riz étuvé

Les résultats de l'analyse statistique ont montré une différence significative entre le taux de brisure et le taux d'absorption de l'eau des variétés de riz étuvé. Les taux de brisure ont varié de 3,33% à 18%. Le taux d'absorption d'eau a varié de 30 à 60%. Les résultats ont montré que le taux de brisure a été moins élevé avec l'étuvage du riz chez toutes les variétés, quelle que soit la zone de culture. Le tableau 2 indique les taux de brisure et d'absorption d'eau des riz étuvés (Tableau 2).

Les résultats comparatifs des taux de brisure et taux d'absorption des variétés de riz étuvé et non étuvé ont montré que les variétés, DM16, Sothasoké et BG 90-2 non étuvées ont engendré plus de 70% de taux de brisure au décorticage avec l'utilisation des décortiqueuses mécaniques. Ces variétés après étuvage ont eu respectivement 7,67%, 6 et 3,67 % de taux de brisure (Fig. 2). Toutes les variétés étuvées ont absorbé plus d'eau que celles non étuvé. La variété qui a absorbé plus d'eau a été Nionoka avec 60% (Fig. 3).

Tableau 2 : Taux de brisure et d'absorption d'eau de dix variétés de riz étuvé

Riz étuvé	Taux de Brisure (%)	Taux d'absorption (%)
Nionoka	11,33	60,00
NERICA 12	18,00	30,00
Wassa	5,67	40,00
BH2	4,67	43,33
Sothassoke	6,00	50,00
Kogoni 91-1	3,33	53,33
NERICA 4	4,00	46,67
BG 90-2	3,67	50,00
DM 16	7,67	36,67
Sika 350-A160	6,00	40,00
Moyenne	7,03	45,00
CV (%)	20,7	10,7
Signification	HS	HS
PPDS (0,05)	2,50	8,22

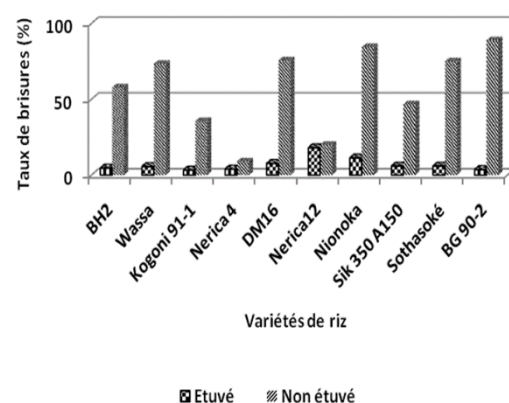


Figure 2 : Taux de brisure du riz étuvé et non étuvé

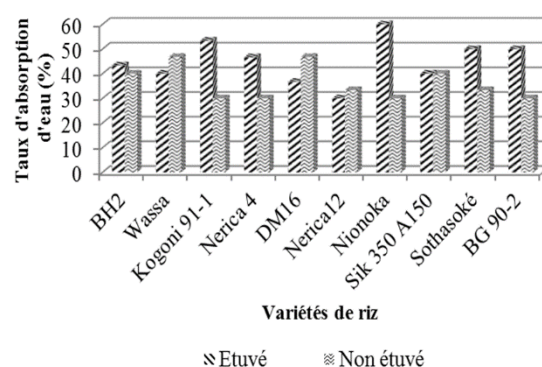


Fig. 3 : Taux d'absorption d'eau du riz étuvé et non étuvé

IV. DISCUSSION

4.1. Stade de récolte

L'étude a montré que les producteurs des trois systèmes de production rizicole avaient différents appréciations du stade de récolte. La récolte est effectuée au stade $\frac{3}{4}$ épis jaune à Niono, par contre dans les deux autres zones, le stade épis totalement jaunes est plus pratiqué. L'état physiologique de maturité dépend des facteurs tels que la date de semis, le cycle des variétés et la saison (hivernage ou contre-saison). Les grains en maturité doivent avoir un taux d'humidité compris entre 20 et 25% quels que soient la saison. Ce qui impliquerait que ce grain a atteint le maximum de poids avec toutes les caractéristiques nécessaires à sa consommation (site fao.org). Par contre avec une humidité inférieure à 20%, le grain a dépassé son stade de maturité et il est en train de sécher sur l'épi, il perd de l'eau, donc il perd du poids. Le poids après la récolte sera plus faible, donc le rendement de la parcelle aussi (site fao.org).

4.2. Battage mécanique

Les types de batteuses fabriquées et exploitées au Mali étaient les batteuses votex twifan et ricefan et la batteuse ACIER communément appelée Batteuse DRIGOR. Les avantages associés à la mécanisation du battage portent sur la rapidité

du travail, la bonne qualité du produit, le bon rendement et la faible dépense d'énergie. Les inconvénients concernent l'obtention de taux de brisure élevé si l'équipement n'est pas bien réglé et le coût élevé de l'opération.

4.3. Rendement au décortiquage mécanique

Le rendement au décortiquage maximal pour une décortiqueuse villageoise (Engelberg) est de 67% (67 kg de riz blanchi pour 100 kg de paddy). Celui des décortiqueuses à rouleaux de caoutchouc peut atteindre 70% (site.fao.org). Cela est conforme aux réponses des producteurs sur le niveau du rendement en fonction des décortiqueuses mécaniques mobiles et fixes qu'ils utilisent. Les rendements au décortiquage étaient variables selon le taux d'humidité du paddy et le type d'équipement utilisé (Dramé et al. 2005). Le rendement au décortiquage du riz cargo estimé à 80%, varie de 65 - 70% après blanchiment. Les contraintes dans l'utilisation des équipements de transformation portent sur l'insuffisance de formation des utilisateurs. Les normes de réglage des pièces travaillantes ne sont pas le plus souvent respectées.

4.4. Taux de brisure et absorption d'eau du riz

Le taux de brisure peut s'améliorer avec un bon contrôle de l'humidité des grains. Donc, il est nécessaire de bien sécher le paddy et assurer le réglage adapté de l'équipement. L'utilisation de grille séparatrice pourrait assurer l'homogénéisation du lot décortiqué. Le mélange de riz blanchi entier et de brisure est peu apprécié à la vente. La classification commerciale sur les taux de brisure (Norme malienne du riz, 2005) indique que le riz de classe II est le lot qui contient 5-15% de brisures et la classe III contient 15-35% de brisures. Ainsi pour atteindre les marchés extérieurs, le riz produit doit être calibré.

L'étuvage du riz permet la gélatinisation de l'amidon assurant une forte cohésion du grain. L'étuvage améliore donc la qualité le rendement au décortiquage en ressoudant les grains clivés diminuant ainsi le taux de brisures et améliorant le rendement au décortiquage et le revenu du producteur. Il accroît les qualités organoleptiques (fermeté et absence de collant) et nutritionnelles en enrichissant l'amande en vitamines hydrosolubles (vitamine B) et minéraux initialement concentrés dans le péricarpe (Djoni, 2009).

Le taux d'absorption d'eau est une caractéristique culinaire qui varie avec la variété et de type de traitement du riz (étuvage). Ainsi la variété Nionoka étuvé a présenté un taux d'absorption d'eau deux fois supérieur à celle non étuvé. Par contre la variété Wassa et Kogoni 91-1 produites dans le même système, n'ont pas présentées les mêmes aptitudes à absorber l'eau à la cuisson. La plus grande quantité d'eau a été absorbée par le riz étuvé. Le taux d'absorption élevé en eau du

riz est un facteur contribuant à l'augmentation du volume du riz cuit.

4.5. Taux d'impureté dans le riz décortiqué

Avec l'encadrement des agents des services de vulgarisation, la majorité des producteurs ont expliqué l'importance de la conduite des bonnes pratiques de production permettant d'éviter le mélange du paddy avec la terre et les contaminations. Ils ont signalé que le riz paddy souillé se conserve mal et donne un riz de mauvaise qualité. Afin d'éviter la contamination avec le sol les opérations de désherbage doivent être effectuées à temps afin de réduire les taux d'impureté. Le faible taux d'impureté pourrait s'expliquer par la présence de cribles séparateurs permettant l'élimination des résidus de pailles, des graines de graminées sauvage plus petites que le riz. Actuellement la qualité du riz décortiqué est beaucoup améliorée grâce à l'introduction de mini rizeries dotées de cribles séparateurs pour éliminer les impuretés avant le décortiquage.

V. CONCLUSION

L'enquête a montré que le niveau de mécanisation du battage et du décortiquage est très poussé dans la zone de Niono et Mopti où l'irrigation est plus appliquée et la culture du riz constitue l'activité la plus dominante. La mécanisation de certaines opérations peut réduire contraintes telles que l'insuffisance de la main d'œuvre (battage, vannage). L'utilisation des équipements contribue à la réduction des temps des travaux des opérations post récolte et améliore la qualité des produits transformés. A Niono, la présence des artisans locaux qualifiés à SOCAFON (Société Coopérative des Forgerons de l'Office du Niger (SOCAFON)) peut contribuer à l'augmentation du niveau d'utilisation des équipements post récolte.

Le rendement au décortiquage des décortiqueuses mécaniques mobiles ou Engelberg les plus utilisées est le plus faible et présente des taux de brisure et d'impureté élevé. Cet équipement nécessite un réglage adapté et la formation des utilisateurs pour l'amélioration de la qualité du riz blanchi et étuvé. Le segment de la transformation a besoin de plus d'investissements afin d'assurer une meilleure qualité au riz décortiqué. Il s'agit de produire du riz de bonne qualité capable d'avoir une forte demande et satisfaire au besoin du consommateur.

L'étuvage tel que pratiqué traditionnellement par les femmes, permettait de résoudre le problème des taux de brisures élevés chez certaines variétés. Mais la durée prolongée de trempage entraînait la fermentation du paddy et le développement des mauvaises odeurs affectant le goût et l'arôme du riz étuvé. L'introduction de la méthode améliorée et d'équipements pour l'étuvage du riz, grâce aux travaux de recherche des

collaborateurs du Conseil Ouest et Centre Africain pour la Recherche et le Développement Agricoles (CORAF) et du Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (WAAPP), la qualité du riz étuvé et du revenu des étuveuses connaîtra une amélioration significative.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont aux :

- Conseil Ouest et Centre Africain pour la Recherche et le Développement Agricoles (CORAF).
- Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (PPAO)
- Comité National de la Recherche Agricole (CNRA)
- Institut d'Economie Rurale (IER)
- Centre National de Spécialisation en Riz (CNZ-Riz).

REFERENCE

- [1] Dramé Djibril et Coulibaly Salimata Sidibé. 2005. La transformation du riz au Mali :

aspects technologiques et économiques. Atelier Ouest Africain sur la transformation du riz à Accra – Ghana.

- [2] CODEX STAN 198. Norme malienne riz ISO 7301/1988
- [3] Jeanne Fatima Djoni. 2009. Amélioration de la technique traditionnelle de l'étuvage du riz, solution pour l'augmentation des revenus des femmes de Dioro. Rapport de fin de cycle, Institut National de Formation des Travailleurs Sociaux
- [4] Manful John. 2006. Rice Grain Quality Assessment Guidelines. Philippines Rice Research Institute.
- [5] Site fao.org
- [6] Salimata Sidibé et Mamadou Soufountera. 2013. Etat des lieux et perspectives des systèmes techniques de transformation du riz au Mali. Rapport étude FAO.

Étude de la teneur et de la bio-disponibilité de quatre oligo-éléments zinc, cuivre, manganèse et fer dans les rizières de Mougna

A. DIALLO^{1*}, C. DEMBELE¹, B. TRAORE¹, S. DAMBE¹, S. TRAORE¹, M. KONARE³, M. DOUMBIA², M. PLEA¹, L. ERICKSON⁴

1. Laboratoire de Physico-chimie des matériaux de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako
2. Laboratoire Sol – Eau – Plantes du Centre Régional de Recherche Agronomique (CRR) de Sotuba de l'Institut d'Economie Rurale Bamako
3. Laboratoire de la Direction Nationale de la Géologie et des Mines Bamako.
4. Laboratoire Arrhénius Département de Chimie des matériaux et Environnement, Université de Stockholm

*Adresse de correspondance : karadam00@yahoo.fr

RESUME : Dans ce travail nous avons déterminé les teneurs en 4 oligo-éléments d'échantillons de sol provenant des rizières de Mougna où l'agriculture est traditionnelle et liées aux eaux de pluies et de crue du fleuve Bani. Les échantillons ont été prélevés dans les horizons (0-20cm) à Mougna, à 40 km de Djenné sur quatre sites: KAOUNA, KOSSOUMA, PANA et SOHA. L'analyse d'échantillons de sol par diffraction aux rayons X (DRX) et la microscopie à balayage (MEB) montre que l'argile contenue dans ces sols est la kaolinite en quantité faible accompagnée d'une forte quantité de quartz. Les teneurs moyennes totales et disponibles du fer ($Fe_{tot} = 539,2$ ppm, $Fe_{dispo} = 42$ ppm), zinc ($Zn_{tot} = 20,4$ ppm, $Zn_{dispo} = 0,142$ ppm), cuivre ($Cu_{tot} = 13,2$ ppm, $Cu_{dispo} = 0,884$ ppm) et manganèse ($Mn_{tot} = 83,4$ ppm, $Mn_{dispo} = 4,3$ ppm) sont obtenues en dosant des extraits par la spectrophotométrie d'absorption atomique. L'influence de certains paramètres des sols dont les valeurs suivent : le $pH_{eau} \in [4,9 - 5,6]$, la matière organique $\in [0,48\% - 2,08\%]$ et le taux d'argile $\in [25\% - 83\%]$ etc. sur la biodisponibilité des oligo-éléments a été établie à travers des études de corrélation : taux d'argile - teneurs oligo-éléments ; pH – teneurs oligo-éléments ; matière organique – teneurs oligo-éléments et enfin les interactions entre les différents oligo-éléments. Cette étude a montré une bonne corrélation entre le zinc disponible et taux d'argile ; (manganèse, fer) disponibles et pH ; (zinc, cuivre, fer) disponibles et matière organique. Les études d'interaction des éléments montrent un antagonisme entre zinc - fer et cuivre – fer.

Mots clés : Mougna, rizières, oligo-éléments, biodisponibilité (Zn, Cu, Fe, Mn).

I. INTRODUCTION

Les éléments minéraux sont indispensables à la vie des êtres vivants et des végétaux. Ces éléments minéraux se divisent en quatre groupes selon le besoin des organismes vivants : les macroéléments, les éléments secondaires, les oligo-éléments et ceux qui n'ont aucune importance nutritive. La connaissance des oligo-éléments en quantité et en qualité dans les sols, eaux et plantes devient dès lors une grande préoccupation pour les agronomes et les agrochimistes. Notre travail sera axé sur la problématique des oligo-éléments dans les rizières de Mougna. Au Mali, très peu de recherches ont été menées sur les oligo-éléments des sols de culture malgré la tendance à l'expansion et à l'intensification des méthodes culturales qui, elles aussi, apportent un surplus d'éléments minéraux à la composition initiale de base. Afin de permettre surtout aux agronomes de faire un choix judicieux des sols ainsi que des amendements éventuels à y apporter pour différentes cultures, il devient urgent, d'établir d'une cartographie nationale des sols.

Alors, un certain nombre de questions se posent : quelle est la teneur en oligo-éléments dans ces sols ? Y a-t-il carence ou toxicité ? Quelle est la nature de l'argile, dans quelle proportion la rencontre-t-on dans ces sols ? Cette argile a-t-elle une influence sur la mobilité des oligo-éléments ?

II. MATERIELS ET METHODES

2.1. Matériels

2.1.1. Présentation de la zone d'étude

La ville de Djenné chef-lieu de cercle situé entre 13°54'16" latitude Nord et 4°33'35" longitude ouest est à 125 km au sud-ouest de Mopti capitale de la 5^{ème} région économique du Mali. Cette région est située dans la zone semi-aride. La ville de Djenné et environs sont dans une zone du delta central du fleuve Niger appelé Pondo et emprisonnés dans l'inter-fleuve Bani-Niger et constituent donc par excellence une zone de dépôt sédimentaire alluviale des deux cours d'eau. Le cercle de Djenné connaît un climat du type sahélien caractérisé par une saison pluvieuse de juillet à septembre et une longue saison sèche de novembre à Mai. La hauteur moyenne annuelle des précipitations varie entre 400 mm et

600 mm [1].

2.1.2. Présentation des sites de prélèvement

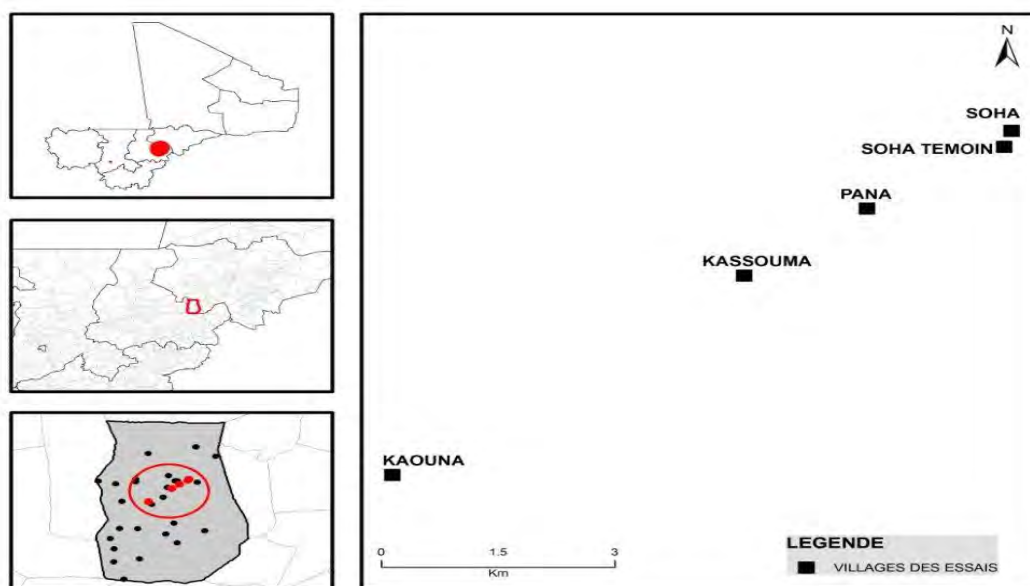


Fig.1 Localisation des sites d'échantillonnage à Mougna- cercle de Djenné- Région de Mopti

2.2. Les méthodes

Les échantillons ainsi prélevés aux horizons (0-20 cm) ont été séchés à l'ombre, broyés, tamisés sur des tamis de 2mm de maille. Pour la caractérisation des sols, deux types d'analyses ont été effectuées:

- l'analyse physique,
- les analyses chimiques.

2.2.1. Analyse physique

L'analyse granulométrique d'un sol consiste à déterminer la proportion des diverses classes de grosseur des particules. Elle consiste à préparer 5g de terre fine, à détruire la matière organique par l'eau oxygénée (H_2O_2), à disperser des particules élémentaires (solution à base de Na), à agiter et à laisser sédimenter. La texture correspond à la répartition quantitative des éléments solides suivant leur taille : [taille > 50 μm : le sable], [taille allant de 50 à 2 μm : le limon] et [taille < 2 μm : l'argile].

2.2.2. Les analyses chimiques

- Pour l'identification de la nature de l'argile contenue dans ces sols, nous avons associé deux méthodes d'analyses à savoir la diffraction aux rayons X (DRX) et la microscopie électronique à balayage (MEB).

- La détermination du pH (eau); le taux de matière organique, la capacité d'échange cationique (CEC) et la teneur des oligo-éléments (Zn, Fe, Cu et Mn) ont permis la caractérisation chimique.

° Détermination du pH : 20g de terre fine séchée à l'air + 50mL d'eau distillée (pH_{eau}) ou 50mL de solution de KCl 1M (pH_{KCl}), agiter mécaniquement

Les (04) sites sont: KAOUNA; KOSSOUMA; PANA et SOHA.

pendant deux heures, plonger les électrodes du pHmètre dans la solution et faire la lecture de la valeur du pH.

° La matière organique est déterminée par la méthode Anne modifiée. Le principe consiste à oxyder le carbone dans le sol par un mélange de dichromate de potassium et d'acide sulfurique. L'acide phosphorique est utilisé pour complexer l'ion Fe II. Les 97% du carbone dans le sol sont oxydés de cette façon.

° La capacité d'échange cationique (CEC): 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.

° Détermination des teneurs en oligo-éléments: elle se fait en deux phases:

L'extraction au DTPA : la méthode consiste à mettre en contact l'échantillon de sol et une solution de $pH = 7.3$ de Triéthanolamine (TEA) à 0.1mol/L, de chlorure de calcium $CaCl_2$ à 0.01mol/L et l'acide diéthylène triamine pentacétique (DTPA) à 0.005mol/L. Le pouvoir chélatant du DTPA permet la mise en solution partielle de certains éléments qui sont ensuite dosés sur l'extrait filtré par absorption atomique. La prise d'essai est de 10g de sol broyé à 2mm. Les éléments Fe, Mn, Cu et Zn sont ensuite dosés sur l'extrait obtenu par absorption atomique.

Pour la détermination de la quantité totale des métaux, on a procédé à une attaque diacide (3 ml HCl 37% + 1mL HNO_3 65%) de 0,60g de terre : mettre au bain-marie à froid et chauffer à 90° pendant deux heures. Agiter au commencement et après une heure refroidir, compléter à 15 mL avec de l'eau distillée et bien agiter. Laisser décanter et prélever 0,5 mL de

la solution, compléter à 20 mL avec du KI. Pour l'analyse prendre 20 mL.

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Chaque échantillon a été soumis à une analyse totale aussi complète que possible. Les spectres et les images ci-dessous représentent les images MEB (Fig.2.a, Fig.2.b) et les spectres DRX (Fig.2.c, Fig.2.d) des échantillons de sol prélevés à Pana et à Soha pris comme exemples. Les pics de la kaolinite apparaissent à $12,5^\circ$ - 25° - $40,5^\circ$ etc. sur les différents diffractogrammes. Sur les images MEB les hexagones des minéraux kaolinitiques sont intacts. Le quartz qui n'est pas visible en surface sur le cliché, montre son existence par la présence du silicium en abondance dans l'étude quantitative des éléments. La capacité d'échange cationique de la kaolinite varie environ de 5 à 15 méq/100g [2]. La CEC des sols étudiés varie de 4,5 et 8,84 méq/100g, ce qui est caractéristique de la kaolinite.

En conclusion tous les sols sont riches en quartz et le type d'argile dominant est la kaolinite. L'image MEB et la forme pointue des pics montrent

que la kaolinite est bien cristallisée.

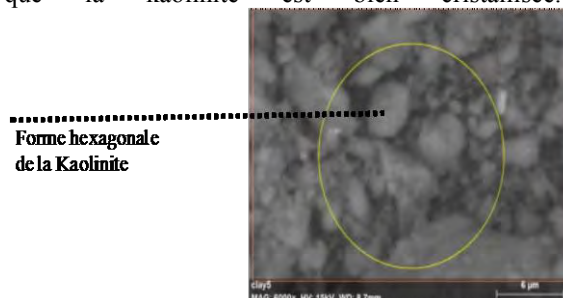


Fig.2.a Image MEB de SOHA

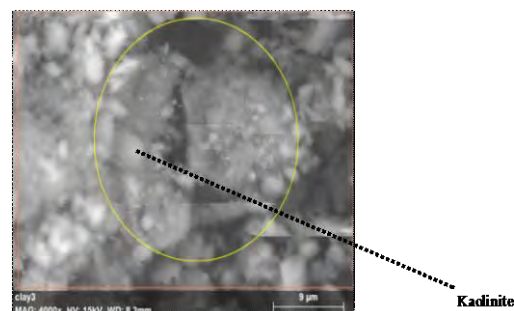


Fig.2.b Image MEB de Pana

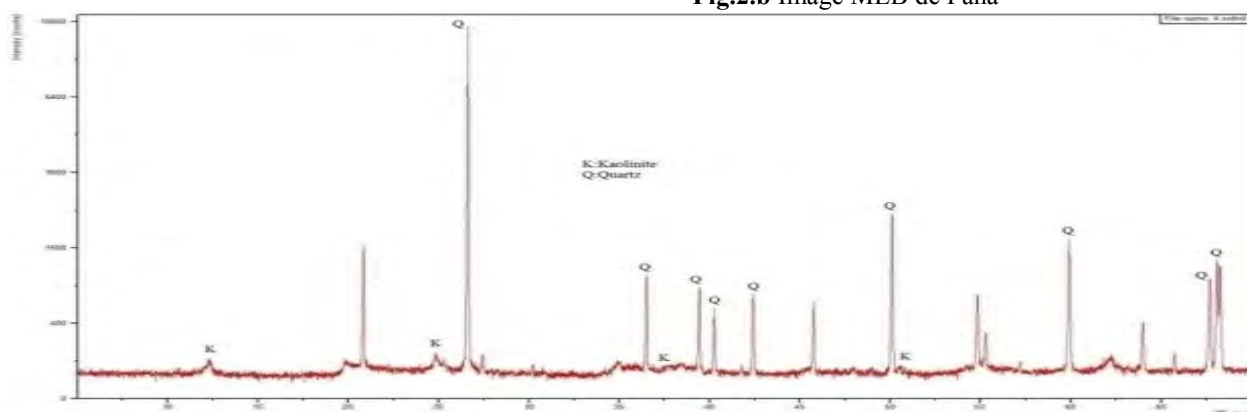


Fig.2.c Spectre DRX de Soha

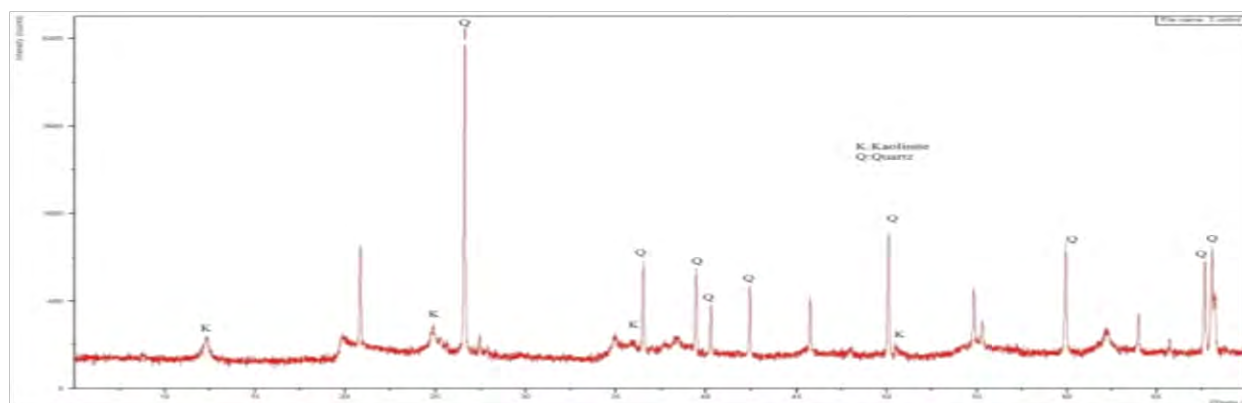


Fig.2.d Spectre DRX de Pana

Tableau3.1: Résultats des analyses physiques et chimiques des sols de Mougna

Nom des sites	Sable en %	Limon en %	Argile en %	Zn _{tot} en ppm	Fe _{tot} en ppm	Mn _{tot} en ppm	Cu _{tot} en ppm	Zn _{DTPA} en ppm	Fe _{DTPA} en ppm	Mn _{DTPA} en ppm	Cu _{DTPA} en ppm	Pourcentage extractible en %				M.O. en %	pH _{eau}	CEC en méq/100 g
												Zn	Fe	Mn	Cu			
KNA1	27	45	28	15	472	71,5	6	-	27,57	2,31	0,6	0	5,89	3,23	10	0,67	5,1	5,20
KSA1	3	14	83	32	1024	67	25	0,13	46,46	3,95	1,14	0,40	4,55	5,89	4,56	1,67	5,1	8,84
PNA1	24	33	43	14,5	468	178	8,5	0,4	70,19	3,84	1,3	1,48	16,39	7,04	7,02	2,08	4,9	7,84
SOA1	56	19	25	27	432	54,5	18,5	-	55,99	3,83	0,85	0	19,17	8,70	10,63	1,14	4,9	4,56
SOAT1	33	32	35	13,5	300	46	8	0,18	9,78	7,55	0,53	1,24	2,28	6,51	6,23	0,48	5,6	7,44

3.1. La quantité totale des 04 oligo-éléments

L'observation du **tableau 3.1** montre que l'élément fer est le plus abondant, ensuite vient le manganèse, puis le zinc et enfin le cuivre.

Tableau 3.2 : Teneurs critiques des sols d'après G. Colinet [3]

	Teneurs critiques dans les sols (mg/kg)	
	Déficience	Toxicité
Cu	1,1	60-125
Fe	4,5	-
Mn	3	1000-3000
Zn	0,86	70-400

La comparaison des valeurs totales moyennes en oligo-éléments aux teneurs critiques de G. Colinet, nous constatons que Cu (13,2ppm), Zn (20,86ppm), Fe (539,2ppm) et Mn (83,4ppm) ne sont donc ni déficients ni toxiques dans les sols de Mougna.

3.2. La quantité disponible des 04 oligo-éléments

L'extraction au DTPA a fourni les quantités disponibles des quatre éléments qui sont consignés dans le **tableau 3.1**. Les teneurs assimilables en zinc sont inférieures à 1 ppm seuil critique selon les normes d'interprétation du laboratoire sol-eau-plante du CRRA de Sotuba au Mali. Ces sols sont déficients en zinc. Quant au manganèse les sols de Kaouna, Kossouma, Pana et Soha ont des teneurs inférieures à 5 ppm (teneur critique du CRRA de Sotuba), donc déficients, mais Soha témoin qui est un sol non aménagé avec une teneur de 7,55ppm est supérieure au seuil critique. Cette situation est peut être due à la biodisponibilité des oligo-éléments et de leur lessivage par les eaux. Les teneurs assimilables de fer dépassent 2,5ppm (seuil critique du CRRA de Sotuba) dans tous les sols étudiés. L'analyse des quantités totales des quatre éléments dans les sols avait révélé une abondance du Fe par rapport aux autres, puis le Mn, le Zn et enfin le Cu. Celle des quantités disponibles se fait suivant l'ordre : Cu > Mn > Fe > Zn.

3.3. La granulométrie des échantillons de sol

Tableau 3.3: le classement textural des sols

Sols	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	texture
KNA1	27	45	28	LSA
KSA1	3	14	83	ALO
PNA1	24	33	43	A
SOA1	56	19	25	SA
SOAT1	33	32	35	A

LSA : limono-sablo-argileux ; ALO : argile lourde ; A : argileux ; SA : sablo-argileux (d'après la classification française).

- **Corrélation entre le taux d'argile et**

teneurs en oligo-éléments

La teneur des métaux est en relation avec leur groupe de texture: argiles > limons argileux > limons > sables [4]. Les résultats de notre étude sont en accord avec la littérature.

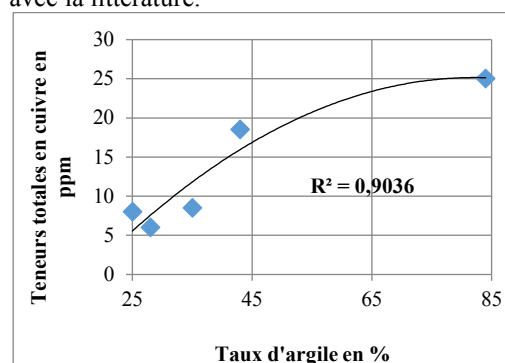


Figure 3.3-a : Variation de la teneur totale en cuivre en fonction du taux d'argile.

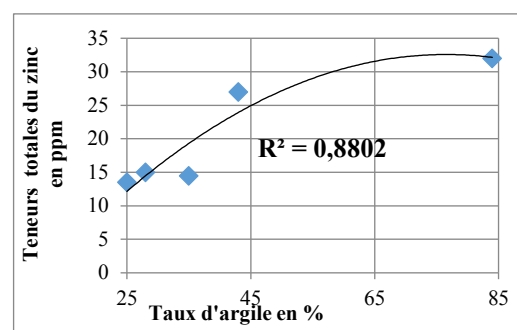


Figure 3.3-b : Variation de la teneur totale en zinc en fonction du taux d'argile.

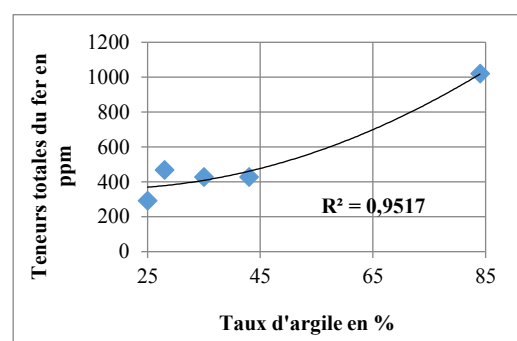


Figure 3.3-d : variation de la teneur totale de fer en fonction du taux d'argile

Les graphiques des figures 3.3-a, 3.3-b et 3.3-d, montrent que les teneurs totales du cuivre, du zinc et du fer augmentent dans les sols avec le taux d'argile.

3.4. Étude de l'acidité des sols

Le **tableau 3.1** donne les valeurs de pH (eau). Elles varient entre 4,9 et 5,1 ce qui veut dire que les sols sont acides.

• pH et disponibilité des oligo-éléments

Le tableau 3.1 donne les quantités disponibles des quatre oligo-éléments (Zn, Fe, Cu et Mn).

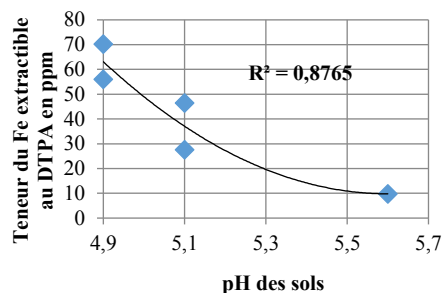


Figure 3.4-a : Variation de la disponibilité du Fe en fonction du pH.

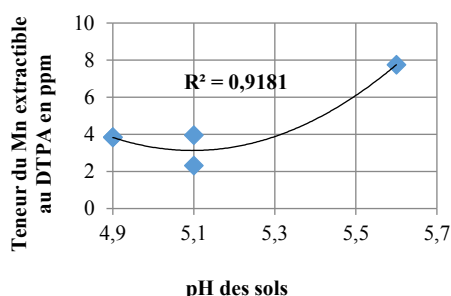


Figure 3.4-b : Variation de la disponibilité du Mn en fonction du pH

Les figures 3.4-a et 3.4-b nous indique le comportement du fer et du manganèse en fonction du pH. Les valeurs disponibles du Fe diminuent quand la valeur du pH augmente dans les. Pour le Mn, ce phénomène est visible pour les faibles valeurs et cesse quand la valeur du pH dépasse 5,2.

Ces études montrent une bonne corrélation entre Fe – pH et Mn – pH.

3.5. La matière organique m.o.

La matière organique du sol comprend tous les composés organiques simples ou complexes, isolés ou bien associés entre eux dans des ensembles vivants ou non vivants [5]. Dans cette étude il s'agit de déterminer les proportions de la matière organique non vivante et évaluer son influence sur la biodisponibilité des oligo-éléments (Zn, Mn, Cu et Fe). Les analyses des sols ont donné les résultats consignés dans le tableau 3.1.

La classification des sols en matière organique est : si la teneur en m.o. < 1,03%, le sol est déficient ; si la teneur en m.o. est comprise entre [1,03 – 31,03%] le sol moyennement organique et enfin si la teneur en m.o. > 31,03%, le sol fortement organique [5]. Au regard des résultats d'analyse, les sols KNA1 et SOAT1 sont déficients; KSA1, PNA1 et SOA1 sont moyennement organiques.

3.5.1. Matière organique et quantité totale des éléments

Les sols (KSA1:2,08%; PNA1:1,67%) possédant les plus forts taux de matière organique fournissent

les plus grandes quantités en Zn, en Cu et en Fe. Seul le Mn ne respecte pas cette logique. En milieu acide le Mn est très soluble. Comme ces sols sont très acides, (sauf SOAT1 qui est moyennement acide), cet élément pourrait avoir migré vers les plantes (assimilabilité) ou avoir été emporté par lessivage. L'aptitude à la complexation de Mn par la matière organique est peu marquée, de sorte que l'essentiel des transferts s'effectue sous forme d'ion Mn^{2+} libres [7]. Les oligo-éléments reconnus essentiels pour les plantes sont par ordre d'accumulation: $Mn > Fe > Zn > B > Cu$ [2].

3.5.2. Matière organique et quantité disponibles en Zn, Cu, Mn et Fe

Ce sont principalement la matière organique et l'argile qui permettent au sol de régulariser la mobilité et la biodisponibilité des éléments traces [4]. La plus forte disponibilité est visible pour les sols ayant des teneurs élevées en matière organique comme le montrent les figures ci-dessous.

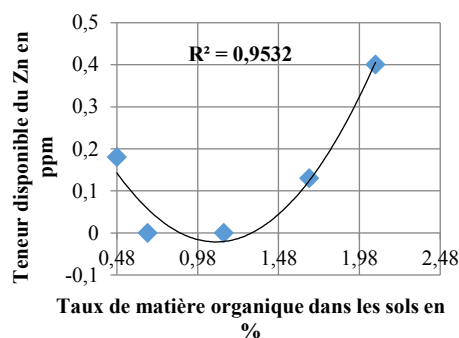


Figure 3.3-a : Variation de la teneur du zinc en fonction du taux de matière organique

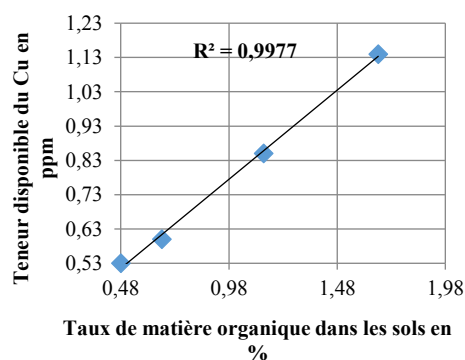


Figure 3.3-b : Variation de la teneur du cuivre en fonction du taux de matière organique

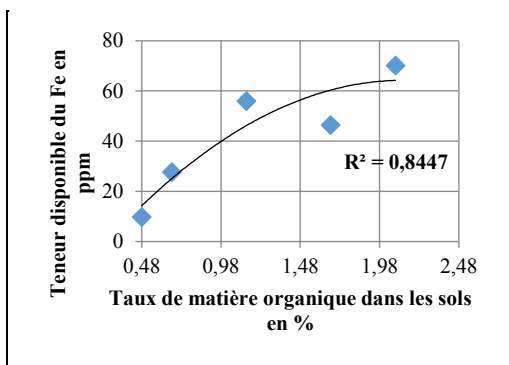


Figure 3.3-c : Variation de la teneur du fer en fonction de la matière organique

En conclusion la disponibilité des quatre oligo-éléments augmente avec la quantité de la matière organique des sols.

3.6. Interaction entre les oligo-éléments (Zn, Cu, Mn et Fe)

L'absorption d'un élément donné est la plupart du temps dépendante de la présence d'autres éléments au voisinage des racines des plantes. Il existe dans la littérature des exemples d'effets antagonistes [8].

Tableau 3.5 : Relation entre les éléments nutritifs [9].

	Fe	Mn	Cu	Zn
Fe		A	A	A
Mn	A			A
Cu	A			
Zn	A	A		

A: antagonisme; B: blocage ou inhibition; P: précipitation; S: synergie ou interaction positive.

Deux exemples: interaction Fe-Zn ; interaction Cu-Fe ont permis d'illustrer ce phénomène.

Il semblerait que les effets de l'interaction de ces éléments dépendent beaucoup de leurs concentrations dans la matrice sol pour le cas Fe - Zn. L'antagonisme n'est observé ici pour l'interaction Cu-Fe.

IV. CONCLUSION

Au cours de notre travail nous avons procédé dans un premier temps à la caractérisation physico-chimique des échantillons de sol de Mougna. Pour ce faire, différentes techniques ont été employées. De l'ensemble des résultats on retiendra que:

- le minéral est la kaolinite contenant des impuretés essentiellement du quartz. La capacité d'échange de l'argile varie de 4,5 et 8,84 méq/100g faible qui confirme la présence de la kaolinite.
- dans une deuxième phase, nous avons étudié les teneurs totales ainsi que celles assimilables de 04 oligo-éléments. Le fer est le plus abondant ; le classement de l'abondance suivant les teneurs totales

est : Fe > Mn > Cu > Zn et celui des quantités disponibles des 04 éléments se fait suivant l'ordre : Cu > Mn > Fe > Zn. Les paramètres tels que le pH, la matière organique (m.o.), le taux d'argile ont des influences perceptibles sur la biodisponibilité. Les sols sont acides : pH ∈ [4,9-5,6], la disponibilité du Zn, du Cu et du Fe augmente avec l'acidité. Ce phénomène n'est pas très perceptible pour le Mn. Les sols ne sont pas organiques : la teneur en m.o. ∈ [0,67%-2,08], là aussi la disponibilité croît avec la m.o. sauf pour le Mn. Le taux d'argile des sols ∈ [25%-83%] montre que ces sols sont argileux. Le constat est que l'argile retient ces oligo-éléments car une augmentation du taux d'argile de ces sols diminue leur mobilité.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Bationo A., 2006: African Soils: their productivity and profitability of fertilizer use.
- [2] Beauchamp J., 2005: Structure des minéraux argileux, Université de Picardie Jules Verne, site électronique: www.u.picardie.fr/beauchamp/mst/argiles.htm
- [3] Colinet G., 2003 : Eléments trace métalliques dans les sols. Contribution à la connaissance des déterminants, et de leur distribution spatiale en région Belge.
- [4] Giroux M., Rompré D., Carrier P., Qudesse et M. Lemieux., 1992 : Caractérisation de la teneur en métaux lourds totaux et disponibles des sols du Québec. Agrosol, Vol. 5 (2) : 46-55.
- [5] Hlavackova P., 2005 : Evaluation du comportement du cuivre et du zinc dans une matrice de type sol à l'aide de différentes méthodologie.
- [6] Gertrud N., 2005: Zinc deficiency in soils and crops in the Niger inland delta in Mali. Memoires de DEA (the department of physical chemistry, inorganic chemistry and structural chemistry), Stockholm, Sweden-40p.
- [7] Perrono P., 1999 : Les micropolluants métalliques et les sols amendés par des boues résiduaires urbaines : mémoire DUESS, DEP, univ. Picardie, Amiens.
- [8] Juste C., 1988: Appréciation de la mobilité et de la biodisponibilité des éléments traces du sol- Science du sol, 1988-vol.26/2-pp.103-112. Plaisir-France.
- [9] Zémoura A. K., 2005 : Etude comparative de quelques méthodes de dosage du phosphore assimilable des sols calcaires en région semi-aride. Mémoire de DEA (agronomie), Université Elhadj LAKHDAR de Batna (Algérie).

Étude comparative de quatre méthodes d'extraction du phosphore dans les sols de rizière au Mali

S. DAMBÉ^{1*}, B. TRAORÉ¹, A. DIALLO¹, S. TRAORE¹, C. DEMBELE¹, D. SAMAKÉ¹, M. PLEA¹, H. KONARE², J. GUNNAR³

1. Laboratoire de physicochimie des matériaux, USTTB, Bamako

2. Institut d'Economie Rurale, Bamako

3. KHT, Stockholm

*Auteur de correspondance : solodab@yahoo.fr

RESUME: Les composés inorganiques du phosphore dans le sol se trouvent principalement sous les formes liées à l'aluminium (P-Al), au fer (P-Fe) ou au calcium (P-Ca). Pour évaluer la réserve du sol en P "assimilable", plusieurs méthodes d'extraction chimiques rapides basées sur la dissolution sélective de ces formes ont été mises au point. Cependant, la grande variabilité des propriétés des sols influence la formation de ces composés, affecte le pouvoir d'extraction des réactifs et rend difficile l'utilisation d'une méthode unique sur un grand territoire. Le but de ce travail est : i- Identifier la méthode qui permet de dissoudre plus de phosphore selon le type de sol de rizières du Mali, ii- déterminer l'influence des propriétés physiques et chimiques qui affectent les formes de P et le pouvoir d'extraction de ces méthodes.

Sept (07) sols, cultivés ou vierges provenant de deux (02) sites ont été utilisés. Les échantillons comme Danga, Dian, Moursi1, Moursi2, le Seno alluvial et le Seno éolien proviennent de la zone Office du Niger. L'échantillon de bas-fond provient du bas-fond de Longorola non loin de Sikasso. Ces sols avaient des propriétés chimiques et des textures très différentes : pH (H₂O) de 4,3 à 10,4 ; le taux d'argile de 2- 57 % ; la teneur en matière organique de 0,12 à 1,02 % ; l'aluminium échangeable extrait au DTPA de 2 à 5,99 meq/100 g et le Fe-DTPA de 0,14 à 115 meq/100 g. Les méthodes d'extractions chimiques comparées sont : i-Bray I : 1 g de sol pour 10 ml d'une solution de NH₄F 0.03 N+HCl 0.025 N. le mélange est agité pendant 1 mn. ii-Bray II : 1 g de sol pour 10 ml d'une solution de NH₄F 0.03 N+HCl 0.1N le mélange est agité pendant 1 mn. iii-DA-4 : 1 g de sol pour 4 ml d'une solution de HCl 0.05 N + H₂SO₄ 0.025 N. Le mélange est agité pendant 5 mn. iv- DA-10 : 1 g de sol pour 10 ml d'une solution de HCl 0.05 N + H₂SO₄ 0.025 N le mélange est agité pendant 5 mn. Le mélange est ensuite filtré et soumis à l'analyse pour déterminer la quantité de phosphore assimilable par colorimétrie.

Les résultats obtenus montrent que l'application des méthodes d'extraction telles que BRAY I, DA-4 et DA-10 donne pratiquement les mêmes résultats sur l'ensemble des sols excepté sur le type Danga, quand bien même Bray I et DA-4 dissolvent mieux le phosphore sur le Seno alluvial. L'application de Bray II s'avère mieux indiquée sur Dian, Danga, Moursi2, Seno éolien et Longorola bas-fond. Par contre, l'application de la méthode DA-10 conviendrait mieux au sol de type Moursi1.

L'identification de la méthode d'extraction la mieux adaptée pour chaque type de sol est une nécessité. Elle aide à formuler les recommandations des engrais phosphatés par type de sol et par objectif de rendement. Cette étude sera poursuivie sous forme d'essais agronomiques afin d'évaluer la corrélation entre la teneur du sol en phosphore déterminé par méthode, et le rendement des cultures selon le type de sol.

Mots clés : Sol, phosphore, extraction, rendement.

I- INTRODUCTION:

Le but de ce travail est d'entreprendre une étude sur la comparaison de quatre méthodes d'extraction chimique pour estimer le P disponible des sols de rizière au Mali. Il vise également à examiner l'influence des propriétés physiques et chimiques spécialement celles qui affectent les formes de P sur le pouvoir d'extraction de ces méthodes.

Ce travail permettra donc de réaliser la première partie d'une étude détaillée sur le statut du phosphore d'un grand nombre de sols du Mali.

Dans cette étude, sept (07) sols, cultivés ou vierges des zones rizicoles du Mali ont été utilisés.

Ces sols avaient des propriétés chimiques et des textures très différentes : pH (H₂O) de 4,3 à 10,4 ; le taux d'argile de 2-57 % ; la teneur en matière

organique de 0,12 à 1,02 % ; l'aluminium échangeable extrait au DTPA de 2 à 5,99 meq/100 g et le Fe-DTPA de 0,14 à 115 meq/100 g avec la plus haute valeur enregistrée sur Longorola Bas-fond.

Les composés inorganiques du phosphore dans le sol se trouvent principalement sous les formes liées à l'aluminium (P-Al), au fer (P-Fe) ou au calcium (P-Ca). Pour évaluer la réserve du sol en P <<assimilable>>, plusieurs méthodes d'extraction chimiques rapides basées sur la dissolution sélective de ces formes ont été mises au point. Cependant, la grande variabilité des propriétés des sols surtout celle qui concerne la texture, la teneur en P, la teneur en fer, en aluminium, en carbonates libres et en matière organique, influence la formation de ces

composés, affecte le pouvoir d'extraction des réactifs et rend difficile l'utilisation d'une méthode unique sur un grand territoire [1]. Il faut donc rechercher d'abord les méthodes les moins affectées par les changements dans la nature physique et chimique des sols concernés.

II- METHODOLOGIE:

Les méthodes chimiques acides utilisées sont celles de Bray-I, Bray-II, DA-4 et DA-10. [2]. Un nouvel extractant tamponné qui a l'avantage d'extraire le P assimilable simultanément avec les autres éléments nutritifs (k. Ca. Mg et les Oglio éléments) du sol a été également suggéré [3].

Les quatre méthodes d'extraction chimique du phosphore ont été appliquées sur les sols séchés à l'air libre et tamisés à 2 mm. Les réactifs et les modes d'extraction pour chacune des méthodes sont décrits dans le tableau 1-1.

Tableau 1-1: Caractéristiques des méthodes d'extraction du phosphore assimilable

Méthodes	Composition Chimique	Ratio Sol/solution	Temps
Bray-I	NH ₄ F 0.03 N+HCl 0.025 N	1 :10	1 min
Bray-II	NH ₄ F 0.03 N+HCl 0.1N	1 :10	1 min
DA-4	HCl 0.05 N + H ₂ SO ₄ 0.025 N	1 : 04	5 min
DA-10	HCl 0.05 N + H ₂ SO ₄ 0.025 N	1 :10	5 min

Tous ces extractants dissolvent les formes de P-Al, P-Fe ou P-Ca soit par l'action des acides, soit en plus par l'effet des ions F⁻ qui servent à complexer l'Al et précipiter le Ca soluble. Les méthodes d'extraction alcaline proposées par [4] pour les sols calcaires pourraient aussi convenir aux sols acides selon [5] et [6].

III- RESULTATS ET DISCUSSION

Les quantités du phosphore assimilable extrait sont mesurées par méthode et par type de sol en se fixant le seuil de 7 ppm comme référence, et en utilisant le rapport (R) [3] pour la détermination des groupes de phosphore. En effet, le rapport (R) de P extrait par HCl 0,075N sur P extrait par DAF (HCl) 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N + (NH₄F 0,008 N) permet d'identifier les formes dominantes de P des sols. Cette expérience a permis d'identifier les relations existant entre les quantités de phosphores extraits et les propriétés physiques et chimiques des sols.

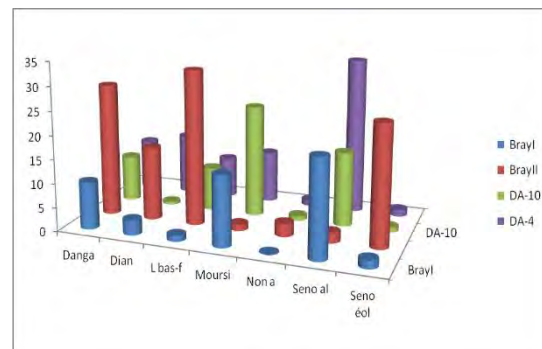


Figure 1 : Illustration de la teneur de P assimilable extrait par sol et par méthode

Les histogrammes présentés sur la Figure. 1 montrent que la méthode d'extraction Bray II est la plus performante sur les sols comme Danga, Dian, LBF, Moursi2, et le Seno éolien. Les sols ainsi énumérés ont un pH très varié ; de 8,5 pour le Danga (alcalin), à 5,3 pour le Dian (légèrement acide) contre 4,3 pour LBF (fortement acide), 6,4 et 6,5 pour respectivement le sol Moursi2 et le Seno éolien (à tendance optimale pour la disponibilité de tous les éléments nutritifs). Au delà de la lecture arithmétique des résultats, l'analyse statistique des données par le logiciel GenSAT 9th a permis de déterminer les valeurs moyennes, la probabilité, la signification des valeurs (tableau 1.2). Cette analyse a aussi permis de classer les méthodes en fonction de la grande moyenne (tableau 1.3) de classer aussi les sols en fonction de la grande moyenne (tableau 1.4). Ainsi, l'analyse de la variance au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls révèle qu'il y a une différence très hautement significative entre les résultats obtenus par l'application des différentes méthodes sur les types de sol car $F_{pr} < 0,001$.

Tableau 1.2: Valeurs moyennes de P.ass par méthode et par type de sol

Types de sol	BrayI	BrayII	DA-10	DA-4
Danga	10,01	27,97	9,79	10,70
Dian	3,17	15,53	0,57	12,88
Long bas-fonds	1,26	32,55	9,29	8,59
Moursi	14,90	1,33	23,55	10,93
Moursi2	0,17	2,79	0,97	1,22
Seno alluvial	20,53	2,16	15,70	32,87
Seno éolien	1,78	25,40	1,04	1,41
Moyenne	7,4	15,39	8,7	11,23
F.pr %	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Tableau 1.3: Classification des méthodes en fonction de la grande moyenne

Méthodes	BrayI	BrayII	DA-10	DA-4
P.P.D.S	1,03			
P.ass (ppm)	7,4a	15,39b	8,4a	11,123c

* P.P.D.S = Plus Petite Différence Significative (L.S.D en anglais),

*Les valeurs accompagnées de la même lettre appartiennent à la même classe,

Les résultats portés au tableau 1.3 font ressortir trois classes : (a, b et c). En effet, les méthodes Bray I et DA-10 donnent des valeurs de P assimilable extrait statistiquement équivalentes quelque soit le type de sol (7,4 et 8,4 ppm de P.ass). Elles constituent la classe (a). Par contre il existe non seulement une différence hautement significative entre les valeurs obtenues par Bray II et DA-4 l'une par rapport à l'autre (15,39 et 11,12 ppm de P.ass) mais aussi cette même différence statistique existe entre chacune de ces méthodes et les éléments de la classe (a) du point de vue capacité d'extraction du phosphore assimilable. Donc la méthode Bray II représente la classe (b) et DA-4 appartient à la classe (c).

Tableau 1.4: Classification des sols en fonction de la grande moyenne (10,68 ppm)

Sols	Moursi 2	Seno éolien	Dian	Moursi1	LBF	Danga	Seno alluvial
P.P.D.S	2,72						
P.ass (ppm)	1,29c	7,41a	8,04a	12,68b	12,92b	14,62b	17,82d

*Les valeurs accompagnées de la même lettre sont statistiquement semblables.

En considérant les types de sol, les résultats portés au tableau 1.4 donnent quatre classes (a, b, c, et d). En effet, selon le test de Newman keuls au seuil de 5%, l'application des différentes méthodes d'extraction du phosphore sur les sols comme Seno éolien et Dian abouti à des résultats statistiquement semblables avec respectivement 7,41 et 8,04 ppm de P pour un PPDS égale à 2,72. Ils appartiennent donc à la classe (a). Cette même tendance est observée entre Moursi1, LBF et Danga qui ont enregistré respectives 12,68 ; 12,92 et 14,62 ppm de P et qui forment ainsi la classe (b). Par contre, pour toute méthode choisie, Il existe une différence très hautement significative non seulement entre les sols Moursi2 (classe c): 1,29 ppm de P et le Seno alluvial

(classe d): 17,82 ppm de P mais aussi entre ces deux types de sol et les éléments des deux premières classes (a et b) pour un PPDS de 2,72.

IV- CONCLUSION

Au terme de cette étude, la méthode Bray II est celle capable de dissoudre la plus grande quantité de phosphore dans les sols de rizière du Mali, suivie des méthodes au double acide DA-4 et DA-10. Ces réactifs très acides solubilisent beaucoup de P lié au Ca et peuvent donc extraire des composés phosphorés basiques comme l'hydroxyapatite.

REFERENCES

- [1] Thomas, G.W et Peaslee, D.E. 1973. Testing soils for phosphorous. Pages 115-132 dans L.M.Walsh et J.D. Beaton, eds. Soil testing and plant analysis. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wis.
- [2] Bray, R.H. et Kurtz, L.T. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorous in soil. Soil Sci.59: 39-45.
- [3] Mehlich, A.1978b: New extractant for soil test evaluation of phosphorous, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. Commun. Soil Sci. Plant anal. 9 : 477-492.
- [4] Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S. et Dean, L. A. 1954. Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circ.939.
- [5] Holford, I.C.R.1980. Greenhouse evaluation of four phosphate soil tests in relation to phosphate buffering and labile phosphate in soils. Soils Sci. Am. J. 44: 555-559.
- [6] Sims, J.T. et Ellis, B.G.1983. Adsorption and availability of phosphorous following the application of limestone to an acid, aluminous soil. Soil Sci. Soc. Am.J. 47: 888-893.

Contribution à l'amélioration des revenus par la production et la transformation de la papaye du Village Technologique à l'IPR/IFRA de Katibougou

Abdoulaye SIDIBE, Seydou DIABY, Toumani BALLO, Salimata TOUNKARA
Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) de Katibougou

*Adresse de correspondance: abdoulayesidibe@yahoo.fr

RESUME : L'amélioration de la production agricole, de la situation alimentaire et nutritionnelle représente sans doute l'un des défis à relever pour les pays en voie de développement. Dans ce contexte l'arboriculture fruitière y trouve grandement sa place grâce à la richesse de ses fruits en éléments nutritifs nécessaires pour la santé de l'homme et l'amélioration de ses revenus. La production des arbres fruitiers à cycle court notamment le papayer, s'avère importante (Maïga, 2009). Les pays en voie de développement, et notamment l'Afrique, produisent des quantités importants de fruits et légumes, généralement consommés en frais (François, 1993). C'est dans le souci d'améliorer le revenu du village technologique qu'une papayeraie a été implantée à l'IPR/IFRA de Katibougou. L'implantation de la papayeraie comporte la réalisation d'une pépinière de 120 plants et la plantation de 100 papayers constitués de deux variétés notamment Solo n°8 et une variété locale Bluestem. La variété Solo avec de petits fruits dont le poids est de l'ordre de 300 à 400 grammes est une variété destinée à l'exportation. La variété locale Bluestem avec de gros fruits dont le poids varie entre 1 et 2 kilogrammes convient pour la transformation. En pépinière, les taux de levée observés sont de 96% pour la variété Solo n°8 et 90% pour la variété Locale. Les taux de reprise, après transplantation, sont de 100% pour les deux variétés. Sur le plan développement et croissance, la variété locale Bluestem présente une légère performance par rapport à la Solo n°8. Par rapport à la production, c'est la variété Solo n°8 qui prend le devant avec 25,4t/ha et 14,1t/ha pour la Variété locale Bluestem. Sur les 699 kilogrammes de la première année, une partie est transformée en confiture, sirop et papaye séchée; le reste est vendu à l'état frais.

Mots clés: bénéfice, coût, devises, papayeraie, variété.

I. INTRODUCTION

Au Mali, l'économie est basée sur le secteur primaire dont l'agriculture, qui représente 38,8% du PIB en 2011 (<http://www.tresor.economie.gouv.fr/se/mali>). Les cultures fruitières constituent une des branches non négligeables de l'agriculture de la zone tropicale. Dans les pays d'Afrique en général, et en particulier au Mali, les fruits sont un produit d'exportation important et une source de revenus en devises fortes. De plus, une grande partie de la récolte de fruits tels que la mangue, la banane, la papaye et autres, est consommée sur place. Le village technologique est confronté à la non fonctionnalité de certaines de ses unités due au coût élevé et à la non disponibilité de certains produits de transformation en particulier la papaye. Au niveau de Koulikoro, ces contraintes s'expliquent par différents facteurs entre autres : la divagation des animaux, cause de nombreux dégâts dans les périmètres réservés à l'arboriculture fruitière d'où un manque à gagner pour les acteurs, le faible niveau d'équipement des producteurs, la non disponibilité des itinéraires techniques performants due à la faiblesse de l'encadrement technique au niveau des acteurs. Les techniques utilisées pour produire la papaye sont restées traditionnelles (utilisation d'intrants non adaptés à des doses très faibles). Tous ces facteurs, combinés, ont abouti à l'insuffisance du

produit sur le marché de Koulikoro, d'où la nécessité de chercher une voie garantie d'approvisionnement du village technologique en papaye.

C'est ainsi que sur proposition du Département des Sciences Economiques et Sociales, il a été demandé la reprise des activités de production de papayes pour satisfaire la demande des clients en papayes fraîches, confiture, sirop de papaye et de diminuer le coût de sa transformation. Selon François (1993), traditionnellement, la transformation des produits alimentaires est une activité principalement féminine. Certaines expériences ont donc pour objectif de favoriser la génération de revenus féminins en créant des unités de production de confitures, de fruits séchés ou de jus de fruits gérés par des groupements féminins. Les femmes maîtrisent généralement bien les techniques de production. Les difficultés qui risquent d'apparaître sont davantage liées à la gestion, ou à la compatibilité entre les activités de transformation et d'autres activités que les femmes peuvent juger prioritaires. L'organisation de la production doit tenir compte de cette donnée. Les femmes, habituées à fabriquer des plats pour les repas, savent 'sentir' le goût, réguler le feu pour une cuisson régulière.

Le papayer (*Carica papaya*) appartient à la famille Caricaceae des plantes. Le papayer est originaire de l'Amérique tropicale, du sud du Mexique à travers la

région des Andes en Amérique du Sud. Cette famille est une proche alliée et ancien membre de la famille des Passifloraceae ou famille du fruit de la passion (USAID, GUINEE, 2006).

Le terme papaye qui est apparu dans la langue en 1579, vient de papaya mot appartenant aux Caraïbes parlé dans les Antilles. Inconnue à l'état sauvage, *Carica papaya* est probablement issue d'un croisement spontané entre deux autres espèces indigènes. Sans être absolument certains, on croit qu'elle vient des basses terres de l'Est de l'Amérique centrale. Les amérindiens l'auraient introduite au Mexique et en Amérique du Sud. Sa domestication et sa diffusion se sont certainement produites très longtemps, car à l'arrivée des espagnols.

Une grande herbe qui donne des fruits : Tout comme le cocotier et le bananier, le papayer n'est pas un arbre, mais une herbe géante semi-ligneuse qui pousse rapidement, mais vit peu longtemps. Une cinquantaine de pays produisent des papayes, les principaux étant le Brésil, le Nigéria, l'Inde, le Mexique, l'Indonésie, l'Éthiopie, le Pérou, la Chine et la Colombie, (www.passeportsante.net).

Aujourd'hui, la papaye est le troisième fruit dans le classement des quatre fruits appelés fruits tropicaux majeurs parmi lesquels la mangue 24,3 millions de tonnes (36% de la production), l'ananas 15,5 millions de tonnes (23%), la papaye 8,5 millions de tonnes soit (12,6%) et l'avocat arrive juste après avec 3,3 millions de tonnes (4,8%). La production mondiale de papaye a été estimée en 2004 à 6,5

millions de tonnes, dont la moitié de la production provient d'Amérique latine et des Caraïbes (http://fr.wikipedia.org/wiki/fruit_tropical).

De nos jours, on rencontre le papayer dans les régions intertropicales du monde où les conditions climatiques sont compatibles avec son développement et sa reproduction.

Le papayer a été signalé en Afrique occidentale en 1705 par Bosman. C'est une plante qui appartient à l'embranchement des Phanérogames, Angiospermes, à la famille des Caricacées (Caricaceae), au genre *Carica* et à l'espèce *papaya*. Le papayer est une espèce de la classe des monocotylédones vivaces sa longévité est de 25 ans, mais en culture intensive on ne le cultive que sur une période de quatre à cinq ans (NDiaye Mbaye et al, 2004).

Le système aérien représente la partie la plus intéressante de la plante puisqu'on y trouve les papayes qui confèrent au papayer sa valeur alimentaire. Il comprend le tronc, les feuilles, les fleurs et les fruits.

Le papayer présente généralement un tronc unique qui reste mou et herbacé. Ce tronc qui conserve longtemps les cicatrices de la base des feuilles, porte à son sommet un bouquet de grandes feuilles à l'aspect palmé.

Les feuilles du papayer sont grandes et lobées avec des pétioles de 60 à 75cm de long ; et les fleurs naissent à l'aisselle des feuilles les plus basses (Figure 1).



Figure 1. a. Fleur du papayer (Ballo, 2013); b. Fleur femelle du papayer (PIP, 2011); c. Fleur hermaphrodite du papayer (PIP, 2011).



Figure 2. Papayer et fruit mur de la variété locale Blustem (Harouna, 2014).



Figure 3. Papayer et fruit mur de la variété Solo 8 (Harouna, 2014).

La papaye est une baie allongée tantôt arrondie de 7 à 30 cm de taille. La forme du fruit n'est pas fonction de la variété, mais du sexe du plant sur lequel pousse le fruit. Les fruits ronds proviennent de plants femelles, et le traditionnel fruit en forme de poivre provient d'un plant hermaphrodite (USAID, Guinée, 2006), la pulpe est juteuse, la couleur de sa chair varie du jaune claire au rouge-orangé (Figures 2 et 3). Il pèse toujours plusieurs kilogrammes, mais ceux destinés à l'exportation ont un poids variant souvent entre 300 et 500g. Le centre du fruit est occupé par une cavité remplie de petites graines noires entourées de mucilage ; le fruit est vert ou jaune (USAID Guinée, 2006 ; PCDA, 2011).

La culture du papayer est possible dans les régions intertropicales à climat chaud ayant une température moyenne d'environ 25°C (optimum 22 à 26°C) sans grands écarts. Le papayer ne supporte pas les températures inférieures à -1°C et supérieures à 44°C. Les papayers sont mieux dans les basses terres chaudes, arrosées des tropiques. Ils sont rarement cultivés sous un climat subtropical à cause de l'impact des températures fraîches sur la croissance des fruits et sur la maturation. Les plants ne tolèrent pas du tout le gel.

La qualité des fruits est favorisée par beaucoup de soleil et une basse humidité relative de l'air.

Le papayer exige 1 000 à 2 000 mm de pluies par an et bien réparties sur l'année. Cependant, il peut être cultivé dans les conditions sèches sous irrigation. Le mauvais drainage prédispose les plants aux maladies issues du sol.

Quant aux sols, le papayer préfère les sols bien drainés et légers, bien aérés. Les sols sableux ou argileux fertiles, humifères et plats lui conviennent. En général, les conditions pour la production de banane sont hautement favorables pour la production de papayes. Le papayer pousse bien sur les sols et les climats convenant à la banane. Les zones de production de la banane sont propices pour la papaye (USAID, Guinée, 2006), le pH doit varier entre 5,0 et 7,0 avec un optimum de 5,5 à 6,5.

Au niveau des ressources génétiques, le papayer est caractérisé du point de vue morphologique par un ratio de sexes variable selon l'origine des pieds.

Les papayers sont parfois dits << trioecious >> ce qui signifie que des plants distincts portent des fleurs soit mâles soit femelles ou bisexuelles (USAID, Guinée, 2006). C'est ainsi que les proportions ci-dessous sont prévisibles (Figures a, b et c) :

- les fleurs femelles fécondées par des fleurs mâles produisent une descendance constituée de 50% de pieds mâles et 50% de pieds femelles ;
 - les fleurs hermaphrodites auto fécondées produisent une descendance constituée de 66% de pieds bisexués, 33% de pieds femelles et moins de 33% de pieds mâles ;
 - les fleurs femelles fécondées par du pollen de fleurs bisexuées produisent une descendance constituée de 50% de pieds bisexués et de 50% de pieds femelles.
- Cette situation fait qu'il faut en principe planter plusieurs papayers pour agrandir la production de fruits. On recommande aussi de laisser après le début de la floraison un (01) pied mâle pour 7 à 10 pieds femelles. En effet, les pieds hermaphrodites peuvent devenir stériles lorsque les conditions de croissance du papayer ne sont pas bonnes.

Le papayer peut vivre 10 ans et plus. Cependant, il est recommandé de l'exploiter intensivement 3 ans pour la production de latex (papaïne) et 4 à 5 ans dans le cas de la production de fruits. L'entrée en production se situe entre 8 et 10 mois après la plantation et s'étale sur une longue période. Un arbre peut produire 30 à 50 fruits et plus (Mbaye et al, 2004).

Présentation de la filière papaye au Mali

La filière papaye peut être considérée comme une filière émergente, car elle dispose d'importantes potentialités. Les statistiques données par les services de l'agriculture indiquent que la production de papaye au Mali est de 30 000 tonnes par an pour une superficie estimée à environ 1 500 hectares. Le papayer est cultivé un peu partout au Mali, mais les principaux bassins de production sont situés dans les régions de Sikasso, Bamako-Koulikoro et Ségou, où elle a été retenue comme filière prioritaire (PCDA, 2009). Les superficies par exploitation sont très petites, les parcelles sont en général de petite taille : 0,10 ha en moyenne et ne permettent pas de rentabiliser des équipements importants indispensables à la production de la papaye (cas des

équipements d'irrigation). Les variétés cultivées sont issues des cultivars locaux caractérisés par une forte hybridation conduisant à des types de fructification hétérogène même au sein d'une même parcelle. Les producteurs ne sont pas organisés et ne bénéficient pas de soutien et d'accompagnement des structures techniques et financières. La commercialisation est l'affaire des femmes qui occupent tous les segments de la distribution. La fluctuation des prix est assez importante d'une zone à l'autre et en fonction du niveau de l'offre. Le maillon de la transformation est presque absent, car la papaye est surtout consommée à l'état frais (PCDA, 2009).

Opportunités de la filière papaye au Mali

Toute la production de papaye est consommée au Mali. La production nationale actuelle ne satisfait pas les besoins des consommateurs nationaux. Cet écart est en partie comblé par des importations en provenance de la Côte d'Ivoire et du Burkina Faso, ce qui constitue un manque à gagner par les producteurs. A la lumière de ces observations, il ressort que le développement de la filière doit privilégier dans un premier temps le renforcement de la consommation intérieure par un accroissement de la production en rendant le produit disponible sur toute l'année. Cela serait possible par l'intensification de la production et de la transformation (fabrication de jus, de nectars et autres tranches séchées). Il existe des atouts importants pour la réalisation de cette augmentation de la production tels que :

- l'existence d'une par de marché national non couverte ;
- la disponibilité des terres aménagées et aménageables (l'Office du Niger, Sélingué, etc.) ;
- l'existence d'un service d'appui conseil même si des efforts restent à faire pour le rendre plus professionnel ;
- l'existence d'un programme de recherche ;
- l'existence d'une structure nationale de production semencière pouvant s'intéresser à l'amélioration variétale ;
- l'existence d'ONG et de programmes de développement comme le PCDA et autres.

Quelques contraintes de la filière papaye au Mali

Organisation des acteurs et de la gestion de la filière :

Aucun dispositif pouvant rapprocher les acteurs de la filière n'existait. Dans ces conditions, les intervenants agissent de manière désordonnée, chacun ayant pour objectif de tirer le maximum de profit par rapport à l'autre. Ainsi, la filière reste désorganisée, ce qui limite toute possibilité de développement. Un début d'organisation commence à se faire sentir avec la mise en place d'un cadre de concertation par le PCDA au niveau de la filière dans

Bamako-Koulikoro : Le potentiel en terre et en eau est assez remarquable sur la filière, mais faute de

la région de Ségou (<http://www.tresor.economie.gouv.fr/se/mali>).

Production et recherche:

- les techniques utilisées pour produire la papaye sont restées traditionnelles (utilisation des intrants non adaptés à des doses très faibles) ;
- des efforts encore très importants restent à faire pour relever le niveau d'équipements des producteurs en vue d'augmenter la productivité de leur travail, diminuer la pénibilité des travaux, accroître de manière significative la production et améliorer la qualité des produits agricoles.
- depuis la libéralisation du marché des intrants agricoles, les commerçants (n'étant pas eux-mêmes spécialistes) importent ces produits sans tenir compte de leur qualité ou des besoins spécifiques des producteurs. A cause de la défaillance au niveau du contrôle de qualité à l'importation, le marché se trouve inondé d'intrants de mauvaise qualité et souvent non adaptés aux différentes cultures.
- l'insuffisance de semences améliorées est une contrainte dans toutes les zones de production : les paysans sont obligés d'acheter à des prix exorbitants des semences de qualité douteuse ou de produire sans aucune base technique leurs propres semences.

Commercialisation :

Le système d'informations sur les marchés agricoles a toujours privilégié les filières cotonnières et autres au détriment de celle de la papaye. Le Système d'Informations du Marché (SIM), a contribué à rendre ces marchés plus transparents. Par contre, certaines filières agricoles, dont la papaye, souffrent de l'opacité des marchés : pas de suivi des quantités produites ou commercialisées et des prix, toutes données indispensables à la bonne organisation des filières.

Principaux bassins de production de la papaye au Mali

Les plus grands bassins de production de papaye au Mali sont situés dans les régions suivantes :

Ségou : L'essentiel de la production est concentrée dans les cercles de Ségou, Bla, San et Tominian. Les variétés cultivées sont des variétés locales de diverses formes (Tableau 1).

Tableau 1 : Evolution de la production de papaye dans la région de Ségou

Campagnes	2005-2006	2006-2007
Superficies (ha)	392	337
Rendement (kg/ha)	19 229,75	27 900
Production (tonnes)	5 504,643	9413,50

Source : DRA Ségou, 2012.

suivi, des données précises ne sont pas disponibles sur le niveau des productions et les superficies

disponibles. La particularité ici est la présence de quelques plantations de la variété Solo n°8 autour de la ville de Bamako.

Sikasso : Traditionnellement, cette région est considérée au Mali comme la principale zone de production de la papaye. Les superficies sont estimées à 670 hectares pour une production de 12 630 tonnes (DRA Sikasso, 2012-2013). Les variétés sont essentiellement locales (Tableau 2).

Pour ces trois zones, les systèmes de production sont tributaires des méthodes traditionnelles qui, du reste, s'adaptent assez bien aux variétés locales qui assurent actuellement l'essentiel de l'approvisionnement des marchés en papayes. Les producteurs ne bénéficient pas de l'accompagnement nécessaire des services techniques et autres structures financières. Les rendements sont en général assez faibles.

Tableau 2 : Potentialités de la filière par chaîne d'approvisionnement au Mali

Chaînes d'approvisionnement	Potentialités
Chaîne d'approvisionnement de la papaye fraîche (variétés locales) pour les marchés urbain au niveau national	- la production actuelle est d'environ 30 000t de papayes (variétés locales confondues) entièrement vendues sur les marchés nationaux ; - les superficies exploitées sont importantes : 1 500 ha ; - les disponibilités en terre et en eau sont remarquables pour un accroissement de la production.
Chaîne d'approvisionnement de la papaye fraîche variété Solo n°8 pour les marchés urbains au niveau national	- la papaye Solo n°8 est très recherchée sur les marchés urbains au niveau national ; - les disponibilités en terre et en eau ; l'existence d'une catégorie de producteurs intéressés par la chaîne.
Chaîne d'approvisionnement de papaye solo n°8 d'exportation par voie aérienne pour les marchés internationaux	Existence de personnes riches pour la papaye Solo sur le marché européen
Chaîne d'approvisionnement de la semence de papaye Solo n°8 pour le marché national	- les superficies pour la Solo n°8 devront augmenter avec la mise en œuvre des deux chaînes d'approvisionnement ; - l'existence d'un marché pour la semence de la papaye Solo n°8.
Chaîne d'approvisionnement de la papaye transformée pour le marché national	- l'existence de transformatrices ayant une certaine capacité en terme d'équipement et de savoir faire ; - l'existence d'un marché pour les produits transformés de la papaye.

Source : PCDA, 2009.

Tableau 3 : Proportion en éléments nutritifs d'un demi-fruit de papaye crue

Que vaut une portion de papaye ?	
Poids/volume	Papaye crue, un demi fruit, 13 cm dia (153g)
Calories	59
Protéines	0,9g
Glucides	15,0g
Lipides	0,2g
Fibres alimentaires	2,7g

Source : www.passeportsante.net

Production mondiale de papaye

La papaye occupe le 3^{ème} rang mondial des fruits tropicaux majeurs après la mangue, l'ananas, et ensuite vient l'avocat

(http://fr.wikipedia.org/wiki:fruit_tropical). Selon la FAO (2004), la production mondiale de papaye a atteint presque 6,5 millions de tonnes en 2004. La production a continuellement augmenté au cours de la décennie passée. Entre 1999 et 2004, la production globale de papayes a augmenté de presque 23 pour cent (USAID, Guinée, 2006).

Un total de 54 pays produit de la papaye sur environ 900 000 hectares (FAO, 2004), le rendement moyen sur les fermes commerciales est d'environ 16 tonnes par hectare (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Papa%C3%A0fne>).

La FAO rapporte qu'en 2002, les 10 pays producteurs principaux figurant dans le tableau suivant, comptaient pour 87 pour cent de la production mondiale de papaye (Tableau 4).

Tableau 4 : Dix premiers pays producteurs de papayes (pourcentage de production mondiale)

Total des 10 pays principaux producteurs (87%)	
Brésil..... (25%)	Ethiopie..... (4%)
Nigeria (15%)	Congo..... (4%)
Inde (12%)	Pérou (3%)
Mexique.....(11%)	Venezuela.....(3%)
Indonésie... (10%)	Chine.....(2%)

Résultats attendus

- une pépinière de 120 plants de jeunes pieds de papayer est réalisée ;
- 101 pieds de papayer sont plantés ;
- 700 kg de papayes sont produits ;
- le coût de transformation de la papaye est réduit

Source : FAO, 2004.

II. OBJECTIFS

2. 1. Objectif général

Contribuer à l'amélioration du revenu du village technologique.

2. 2. Objectifs spécifiques

- Produire la papaye au sein du village technologique de l'IPR/IFRA de Katibougou ;
- Diminuer le coût de transformation de la papaye à l'IPR/IFRA de Katibougou ;
- Générer des revenus pour l'exploitation de l'IPR/IFRA de Katibougou.

III. MATERIEL ET METHODES

3. 1. Matériel

Le matériel végétal est constitué de deux variétés de papayes :

- La variété Solo n°8 est de taille moyenne ; il produit des fruits d'excellente qualité. La production moyenne est de 50t/ha en climat tropical humide et de 30t/ha en climat continental (Mémento de l'agronome, 2002).
- La variété locale Bluestem est un papayer de grande taille, productive avec de gros fruits pouvant peser jusqu'à 2 kilogrammes.

Outillages : Les outils utilisés sont : une corde, des piquets, un mètre ruban, un arrosoir, une pelle, un pied à coulisse, un seau, un coupe-coupe, une daba, une pioche, un peson.

Intrants : fumures organique et minérale, insecticide, semences de papaye.

3. 2. Méthode

La méthode est en deux phases :

- une phase théorique consacrée à la recherche documentaire et
- une phase pratique réalisée au potager.

Production de plants

Préparation du mélange : la préparation du mélange terreau, sable, et du fumier fut la première activité menée dans le cadre de l'exécution du projet. Elle a eu lieu le 02/12/2011. Les particules dures contenues dans le mélange ont été écrasées ou enlevées. Le

mélange était composé de 1/3 de terreau, 1/3 de sable et 1/3 de fumier. Le tamisage du mélange a été effectué avec un tamis dont le diamètre des mailles faisait 10mm.

Remplissage des pots : les pots dont nous avons utilisé sont des sachets polyéthylènes de 8-12 cm de largeur et de 25 cm de hauteur. Chaque pot a été rempli par le mélange légèrement humecté à presque 1cm de la bordure.

Semis : le semis a été effectué à raison de 2-3 graines par pot. La semence de la variété locale est traitée avec de l'Apron Star. Il est à noter que les graines de la variété locale n'ont pas germé. Nous avons été obligés de procéder à un re-semis, ce qui explique le léger décalage entre les dates de transplantation.

Préparation des trous et transplantation : après le nettoyage, délimitation et le piquetage de la parcelle, les trous ont été creusés à la dimension de 60cm de diamètre et 60 cm de profondeur.

Fertilisation : en fumure de fond, 8 kilogrammes de fumure organique ont été apportés par trou.

Ecartement : un écartement de 2 m entre les plants et sur la ligne a été adopté soit un total de 100 pieds de papayer/400m².

Dimensions de la parcelle : la parcelle de production a comme dimension : 20m x 20m = 400 m² et le nombre de trous de plantation = 100 trous.

Transplantation : la transplantation de la variété Solo n°8 a eu lieu le 05 février 2012 et celle de la variété locale Bluestem le 05 mars 2012, et la fructification a commencé respectivement en mai pour la variété Solo n°8 et en juin 2012 pour la variété locale Bluestem.

Entretiens :

- Irrigation : la transplantation ayant eu lieu en saison sèche, elle a été assurée par les installations de l'établissement en attendant l'installation de l'hivernage. A la fin de l'hivernage, les mêmes installations de l'établissement ont assurées l'irrigation. Le système utilisé est l'irrigation gravitaire. La distribution de l'eau sur la parcelle se fait à travers des canaux secondaires et tertiaires débouchant sur les cuvettes autour des papayers.

- Désherbage : il a été réalisé à chaque fois que la nécessité se pose.

- Fumure d'entretien : l'apport d'engrais minéral était bimensuel. Il a été apporté 100grammes de complexe coton (14-18-18-6S-1B₂O₅) à partir du deuxième mois après la transplantation jusqu'au douzième mois.

Observations phytosanitaires : il a été observé des attaques fréquentes de *Zonocerus variegatus* (cricquet puant). L'application d'insecticide a permis de limiter les dégâts. Le produit utilisé dans ce cas est le cyhalon 2.5 EC, 25g de cyhalothrine par litre à la dose de 15ml pour 10 litres d'eau.

Observations phénologiques : ces observations concernent : le pourcentage de levée et de reprise des plants de papayer

Tableau 5 : Pourcentage de levée et reprise des plants de papayer

Variétés	Taux de levée en pot (%)	Taux de reprise des plants après transplantation (%)
Solo n°8	96	100
Variété locale Bluestem	90	100

Le taux de levée a été observé au quinzième jour après le semis, alors que le taux de reprise quinze jours après transplantation (Tableau 5).. Le bon taux de levée de Solo 8 s'explique par la bonne qualité des semences.

Observations biométriques :

En pépinière, les mesures biométriques ont été effectuées trois fois (7^e, 14^e et 21^e jour après germination) sur (10) plants choisis au hasard pour chaque variété.

Les observations ont porté sur les paramètres suivants :

- la taille des jeunes plants après une semaine, deux semaines et trois semaines ;
- le nombre de feuilles des jeunes plants après une, deux et trois semaines ;
- le diamètre des jeunes plants après une, deux et trois semaines.

Sur la parcelle :

Sur la parcelle, les mesures biométriques ont été effectuées (de la reprise à la fructification) et les observations ont porté sur la taille et le diamètre.

Transformation/conservation : Les papayes produites sont directement vendues ou transformées en sirop et confiture au sein du village technologique

Transformation de la papaye

Confiture de papaye:

Tableau 6 : Technique de fabrication de la confiture de papaye

Opérations	Observations	Remarques et relevé de données
Stockage	-	-
Pesée	11,5kg (32 fruits)	-
Nettoyage	à l'eau avec du savon	-
Epluchage et épépinage	Enlever les fibres	-

Pesée de la pulpe	7,5kg	-
Broyage	Passage à travers un passoir (couscoussier)	-
Adjonction de sucre	5,5kg	-
Adjonction de citron	8,5cuillerées à café	-
Adjonction de poudre de manioc	11,5 cuillerées à café	-
1 ^{re} stérilisation avec de l'eau chaude et remplissage des bocaux		10mn après ébullition
2 ^{me} stérilisation avec de l'eau bouillante	Après remplissage des bocaux	-
Refroidissement des bocaux	-	7,5 kg de pulpe ont donné 8 grosses bouteilles d'1 kg, vendues à 1 000 francs l'unité

NB : Les deux variétés se prêtent bien à la fabrication de la confiture.

Papaye séchée :

L'opération a porté sur 4,1 kg de pulpe qui ont fourni 1 kg de papaye séchée. Le produit fini a été conditionné dans des sachets de 250 grammes (le kg de papaye séchée a donné 4 sachets de 250grammes et vendu à 750 F CFA le sachet) dans l'enceinte du village technologique.

Processus de séchage :

- Laver proprement les mains au savon ;
- Laver proprement les papayes ;
- Eplucher et épépiner les papayes ;
- Peser la pulpe obtenue ;
- Découper les papayes en petits morceaux ;
- Etaler les morceaux de papaye sur une claie, recouvrir avec un autre et mettre au soleil.

Après séchage, les morceaux sont emballés dans des sachets plastiques. L'opération a duré 4jours.

Sirop de papaye :

Tableau 7 : Techniques de préparation du sirop de papaye

Opérations	Observations	Remarques
Stockage	-	-
Pesée	5,5kg (15 fruits)	-

Nettoyage	Avec de l'eau et du savon	-
Epluchage et épépinage	-	-
Pesée de la pulpe	4kg	-
Broyage	Passage à travers un passoir	-
Adjonction de l'eau	3,6 L d'eau	0,9 L d'eau pour 1kg de jus
Adjonction de sucre	3,2kg de sucre	0,8 L de sucre pour 1kg de jus

Adjonction d'acide citrique	4cuillerées à café	1cuillerée pour 1kg de jus
Cuisson	10mn à l'ébullition	-
Rinçage des bidons de 90 cl	-	-
Mise en bidons et stérilisation	Les bidons ont été remplis avec du sirop chaud	4 kg de pulpe ont donné 8 bidons vendus à 1 000 francs l'unité

Les deux variétés se prêtent à la transformation.

IV. RESULTATS ET DISCUSSIONS

4. 1. Mesures biométriques en pépinière

Tableau 8 : Mesure du diamètre au collet, de la hauteur et du nombre de feuilles

Variétés	Diamètre au collet (mm)			Hauteur des plants (cm)			Nombre de feuilles par plant		
	7 ^e j	14 ^e j	21 ^e j	7 ^e j	14 ^e j	21 ^e j	7 ^e j	14 ^e j	21 ^e j
Solo n°8	1,03	1,5	2	4,8	6	7,8	3	5	7
Variété locale Bluestem	1,04	1,6	2,1	4,9	7	8,5	3	5	7

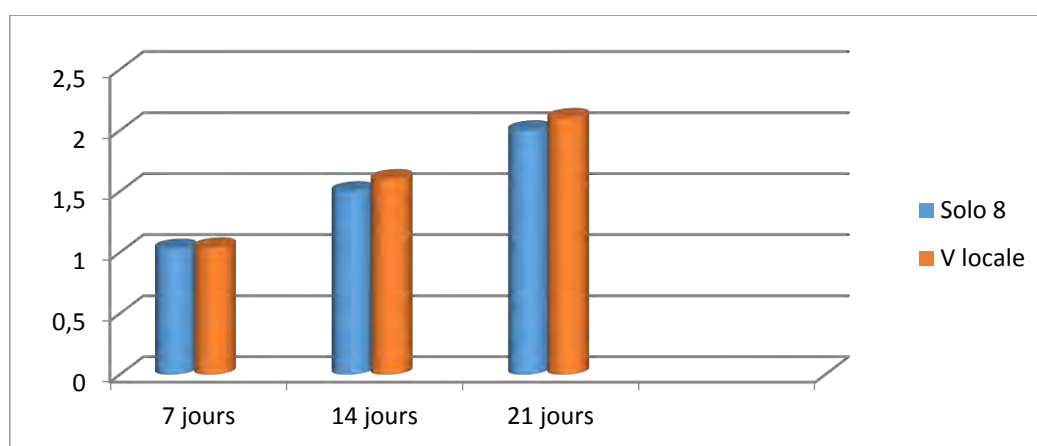


Figure 4. Diamètre au collet (en mm).

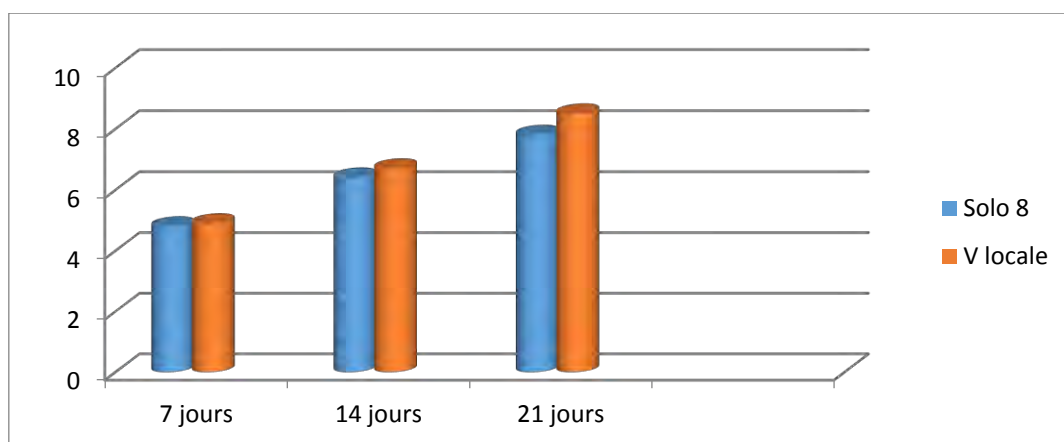


Figure 5. Hauteur des plants (en cm).

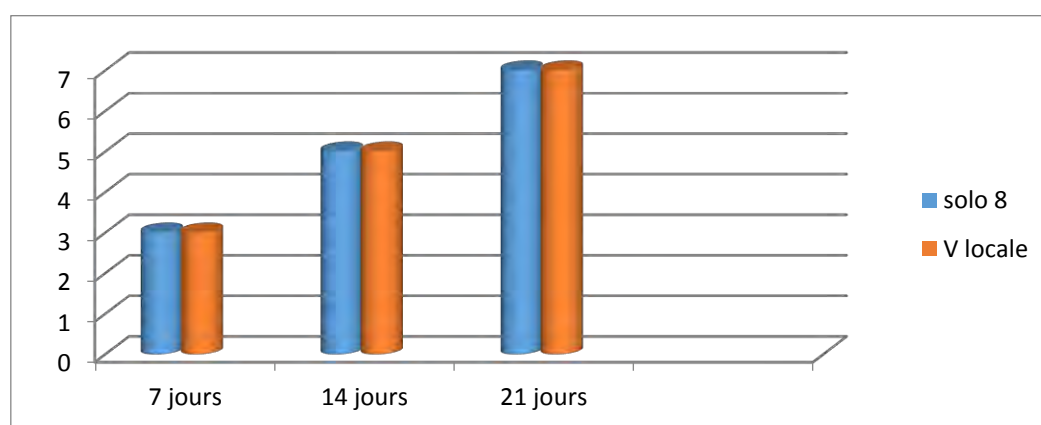


Figure 6. Nombre de feuilles.

Tableau 9 : Mesures biométriques des papayers sur la parcelle

Variétés	Diamètre au collet (cm)			Hauteur des plants (m)		
	Après reprise	Début floraison	1 an	Après reprise	Début floraison	1 an
Solo n°8	2,1	7,3	13,4	0,25	0,85	1,70
Bluestem	2,2	8,1	13,9	0,30	0,90	1,75

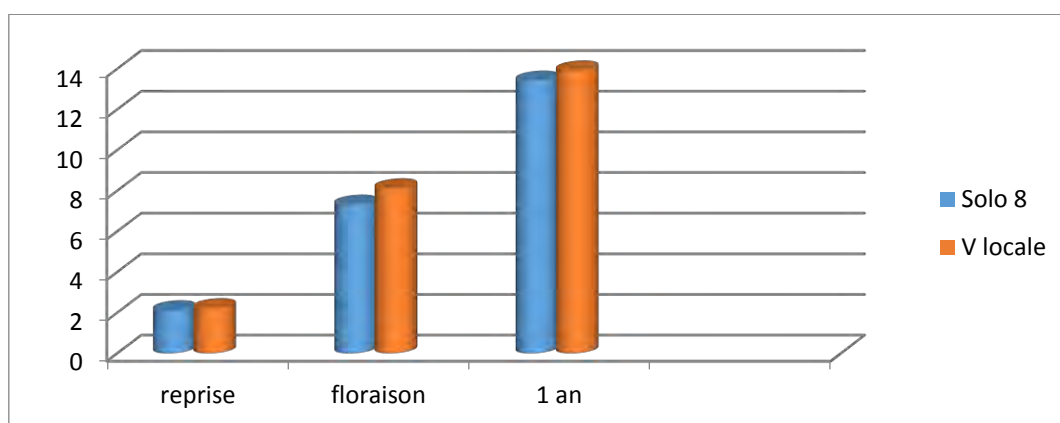


Figure 7. Diamètre au collet (en cm).

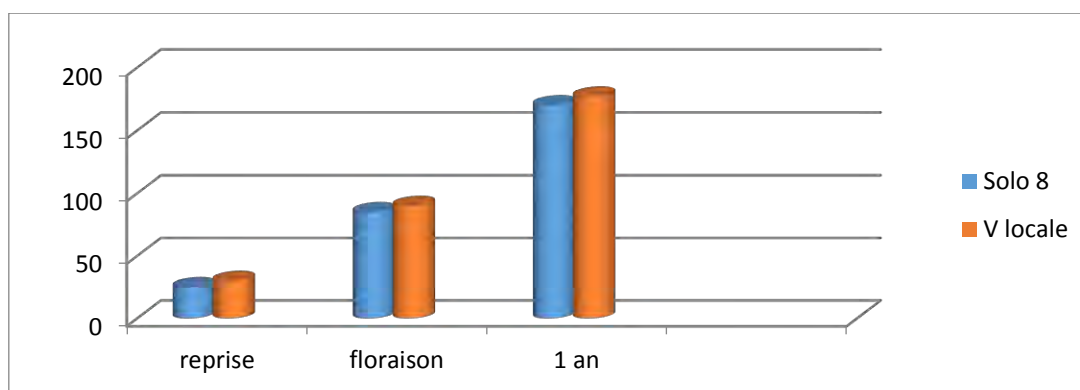


Figure 8. Hauteur des plants (en cm).

Tableau 10 : Paramètres de récolte

Variété	Rendement (kg/ha)	Production(t/ha)
Solo n°8	416,7/200m ²	25,4
Bluestem	282,3/200m ²	14,1
Ecart	134,4/200m ²	11,3

Nous constatons un écart considérable de rendement entre les deux variétés.

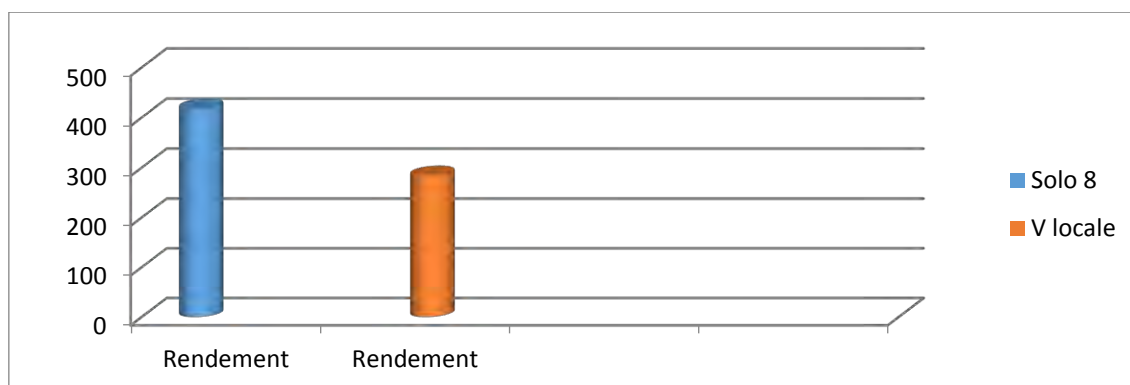


Figure 9. Comparaison des rendements (en Kg)

Tableau 11 : Estimation des charges (F CFA)

Activités	Quantité	Prix unitaire (FCFA)	Montant (FCFA)
Achat de pots	120	15	1 800
Achat semence Solo n°8	1	4 500	4 500
Achat de fumier	1	10 000	10 000
Achat insecticide	1	1 000	1 000
Nettoyage de la parcelle	1	4 000	4 000
Achat de complexe coton	60 kg	300	18 000

Installation et entretien pépinière	1	2 000	2 000
Trouaison	100	100	10 000
Remplissage des trous	1	1 000	1 000
Confection de cuvettes	1	1 000	1 000
Transplantation	1	500	500
Frais d'entretien manœuvre	12	1 875	25 500
Carburant pour le déplacement	20litres	725	14 500
Eau d'arrosage	170m ³	113	19 210
Total			113 010

Les charges s'élèvent à cent huit mille deux cent soixante quatre (113 010) F CFA. Compte tenu des conditions de production, toutes les charges n'ont pas été prises en compte, telles que : les frais de location de la terre, les frais de gardiennage de la parcelle.

Estimation du coût de production du kilogramme de papaye

La production de papaye étant de 699kg, nous aurons : $113\,010 \text{ F CFA} / 699 = 162 \text{ F CFA/kg}$.

Tableau 12 : Comparaison des coûts de transformation de la papaye en confiture produite par le village technologique et achetée sur le marché.

Papaye produite à l'IPR/IFRA				Papaye achetée sur le marché			
Dépenses	Quantité	P.U (FCFA)	Montant (FCFA)	Dépenses	Quantité	P. U (F CFA)	Montant (F CFA)
Papaye	11,5kg	162	1862	Papaye	11,5kg	350	4025
Sucre	5,5kg	500	2750	Sucre	5,5kg	500	2750
Farine de manioc	8 cuillerées	-	100	Farine de manioc	8cuil	-	100
Acide citrique	11,5cuillerées	-	150	Acide citrique	11,5cuil	-	150
Bouteilles	8	25	200	Bouteilles	8	25	200
Gaz	0,3kg	585	175	Gaz	0,3kg	585	175
Main d'œuvre	2heures	400	800	Main d'œuvre	2heures	200	400
Total			6 037				8200

cuil = cuillerée

Cette comparaison fait ressortir une différence de : $8200 \text{ F CFA} - 6037 \text{ F CFA} = 2\,163 \text{ F CFA}$. Ce qui signifie que sur chaque 11,5 kg de papayes produites et transformées en confiture, le village technologique dégage un bénéfice de 2 163 F CFA.

Tableau 13 : Comparaison des coûts de transformation de la papaye en sirop produite par le village technologique et achetée sur le marché.

Papaye produite à l'IPR/IFRA				Papaye achetée sur le marché			
Dépenses	Quantité	P.U (F CFA)	Montant (F CFA)	Dépenses	Quantité	P.U (FCFA)	Montant (FCFA)
Papaye	5,5kg	162	891	Papaye	5,5kg	350	1 925
Sucre	3,2kg	500	1 600	Sucre	3,2kg	500	1 600
Acide citrique	6 cuil	-	78	Acide citrique	6 cuil	-	78
Gaz	0,2kg	585	125	Gaz	0,2kg	585	125
Main d'œuvre	2heures	400	800	Main d'œuvre	2 heures	400	800
Bidons	8	100	8 000	Bidons	8	100	800
Total			4 294				5 328

cuil = cuillerée.

Il ressort de cette comparaison une différence de : 5 328 F CFA– 4 294 F CFA = 1 034 F CFA. Ce qui signifie que sur chaque 5,5 kg de papayes produites et transformées à l'IPR/IFRA en sirop, le village technologique dégage un bénéfice de 1 034 F CFA.

Tableau 14 : Comparaison des marges bénéficiaires par 10 kg de produits (papaye fraîche, confiture et sirop).

Produits	Prix à la production (FCFA)	Prix de vente (FCFA)	Bénéfice (FCFA/10kg)

Exemple de processus de transformation :



Figure 10. Broyage de la pulpe



Figure 11. Cuisson de la confiture



Figure 12. Remplissage des bocaux



Figure 13. Refroidissement des bocaux

V. CONCLUSION

Ce travail nous a permis d'avoir beaucoup de renseignements sur le papayer en général, sur sa production et sa transformation en particulier. Il nous a aussi permis de nous faire une idée du profit que le village technologique peut tirer de la papaye produite au sein de l'établissement. Pour une bonne production de papaye, il faut fournir les besoins réels de la plante en eau et en fumures (organique et minérales). Compte tenu de l'importance de la production de papaye comme source génératrice de revenus pour le village source génératrice de revenus pour le village technologique, et de la richesse du fruit en éléments nutritifs, il est important que la production de papaye se poursuive au sein de l'établissement.

Durant cette période d'étude, il a été produit 699 kg de fruits dont 416,7 kg pour la variété Solo et 282,3 kg pour la variété locale Bluestem. Une quantité importante de cette production a été vendue fraîche, et le reste a été transformé en confitures, en sirops et en papaye séchée.

REFERENCES

- [1] Direction Régionale de l'Agriculture (DRA) de Ségou, 2012. Bilan de la campagne agricole, 27pages.
- [2] Direction Régionale de l'Agriculture (DRA) de Sikasso, 2012. Bilan de la campagne agricole, 32 pages.
- [3] FAO, 2004. Rapport de campagne.
- [4] [fr.wikipedia.org/wiki-Fruits tropicaux](http://fr.wikipedia.org/wiki-Fruits_tropicaux)

- [5] fr.wikipedia.org/wiki/Papa%C3%A9ne
Production mondiale de papayes, 3 pages.
- [6] FRANÇOIS M., 1993. Transformer les fruits tropicaux.
- [7] MAIGA, 2009. MAIGA A. I., 2009. Contribution à l'amélioration des revenus du village technologique par la plantation de papayer et la transformation de papaye, mémoire de fin de cycle, 82 pages.
- [8] NDIAYE M., DIARRA B., DEME M., SARR E., 2004. Gestion intégrée de l'arboriculture fruitière, 35p.
- [9] PCDA, 2009. Rapport de campagne, 15 pages.
- [10] PCDA, 2011 : Plan d'activités prioritaires filières papayes, 47 pages.
- [11] USAID, GUINEE, 2006. La papaye pour la Guinée, un produit d'avenir, 9 pages.
- [12] www.passeportsanté.net : Proportion en éléments nutritifs d'un demi-fruit de papaye cru.
- [13] www.tresor.economie.gouv.fr/se/mali

Influence de la terre de fourmilière sur le comportement de la tomate (*Lycopersicum jl*) en zone soudano sahélienne (Koulikoro-Mali)

Bakary SAGARA^{1*}, Amoro COULIBALY¹, Fabrice FEÏ-INGTENA NGAÏHEDA¹, Abou COULIBALY¹

¹IPR/IFRA de Katibougou, Koulikoro, Mali

*Corresponding Email address: bakarysagara@yahoo.fr & coulivalya2002@yahoo.fr

RESUME: L'agriculture se trouve aujourd'hui face à la nécessité d'un changement profond pour répondre aux enjeux actuels qu'ils soient environnementaux, climatiques, alimentaires, sociaux ou économiques. Ainsi, l'agriculture durable ambitionne à sortir de la dépendance aux intrants à forte nuisance environnementale (pesticides, engrais) pour s'orienter vers de nouvelles formes de ressources naturelles. La terre de fourmilière fournit un excellent fumier organique, surtout pour les sols pauvres qui ne retiennent pas l'eau. Cette étude présente les résultats des travaux sur l'effet de la terre de fourmilière comparé aux effets des intrants minéraux et organiques sur le développement de la tomate (variété MONGAL F1) en saison hivernale à l'IPR/IFRA de Katibougou. Le dispositif utilisé est le bloc de Fisher en 4 traitements, 4 répétitions. Les observations ont porté sur le diamètre au collet des plants, la hauteur des plants, le nombre de feuilles des plants, le nombre de rameaux des plants et le nombre de fruits. Au 15^{ème} jour après repiquage (JAR), la différence n'est pas significative entre les différents traitements. Au 30^{ème} et 45^{ème} JAR, la différence est significative entre les plants de pots de la terre de fourmilières et les autres traitements (intrants minéraux et organiques, témoin). Le nombre de fruits le plus élevé est constaté chez les plants de pots de terre de fourmilière et les plants de pots de la fumure organique.

Mots clés: terre de fourmilière, fourmis, tomate, fertilité, soudano-sahélien, agriculture durable, croissance des plantes.

I. INTRODUCTION

Les sols sont caractérisés par un niveau faible de fertilité en zone soudano sahélienne. Pour surmonter cette contrainte, les fertilisants chimiques sont utilisés. Ceux-ci posent des problèmes d'ordre économique (très coûteux pour les paysans) et d'ordre écologique. L'une des solutions à l'amélioration de la fertilité des sols pourrait résider dans l'emploi des fertilisants locaux dont probablement les terres des fourmilières. L'adoption de pratiques intelligentes comme l'utilisation de la terre de fourmilière par les paysans peut être une solution de rechange aux fertilisants chimiques.

Les lombrics, les termites et les fourmis ont été identifiés comme les plus importants ingénieurs du sol. Ces organismes ont la capacité de modifier les propriétés physiques, chimiques et microbiologiques des sols [1]. Ces sols sont souvent enrichis en particules fines, en matière organique, en minéraux (Ca, Mg, K et Na) par rapport au sol environnant [2, 3]. Ainsi, la disponibilité des éléments nutritifs du sol pour les plantes est améliorée [4, 5, 6].

Si l'action pédologique des termites a fait l'objet de plusieurs études, celle des fourmis n'a pas suscité beaucoup d'intérêt. Peu de travaux ont été réalisés sur le rôle pédologique des fourmis dans les sols et leur emploi en agriculture malgré que le nombre des fourmilières soit particulièrement élevé avec souvent des nids d'assez grandes tailles [7]. Alors que les

études ont montré que les fourmis ont un effet sur l'immobilisation des éléments nutritifs et l'humification du sol [8, 1]. En plus, des études sur les fourmis moissonneuses ont montré que les plantes qui poussent sur des monticules ont une productivité élevée [9].

L'utilisation de fertilisants naturels est l'une des solutions pour une gestion durable et une restauration des sols dégradés qui constituent un défi pour l'agriculture des pays subsahariens [10].

L'utilisation de la terre de fourmilière par les paysans est une stratégie peu onéreuse et ne nécessitant pas une expertise technique élevée. Mais nous disposons actuellement de très peu d'informations concernant leurs effets sur le rendement des cultures. C'est dans ce contexte que la présente étude se propose de mettre en évidence l'effet de la terre de fourmilière sur la croissance de la tomate dans la zone soudano sahélienne.

II. METHODOLOGIE

2.1 Zone d'étude

En juin 2015, l'essai a été implanté dans un tunnel (couverture de toile) du domaine de l'IPR/IFRA de Katibougou (Koulikoro) avec une pluviométrie moyenne annuelle de 700-900 mm par an.

2.2 Type de sol

La terre utilisée a été prélevée sur un sol ferrugineux tropical hydromorphe caractérisé par une texture argilo-limoneuse, une faible teneur en éléments minéraux et matière organique et un pH naturellement acide.

Les terres de fourmilières ont été prélevées au niveau de 4 fourmilières actives à la profondeur de 50 cm et homogénéisées. À environ 10 m des fourmilières, des terres ont été prélevées à la profondeur de 50 cm. Elles ont été amendées soit par de la fumure organique ajoutée comme engrais de fond 30t/ha de fumure organique (30t/ha) ou soit de la fumure minérale (200kg/ha). Les terres ont été réparties en raison de 13 kg par pots.

2.3 Matériel végétal

L'essai a été réalisé avec la variété de tomate Mongal F1 (hybride) qui est une plante très vigoureuse (très bonne nouaison en condition difficiles). Le rendement est excellent avec des fruits ronds aplatis pesant 100 à 140g. La précocité est de 60-65 jours.

Le semis a été effectué en pépinière. Les intrants utilisés ont été la fumure organique (10t/ha), fumure minérale (200kg/ha) et insecticide nematicide (30g/10litres d'eau). Au repiquage, seuls les plants robustes (4 à 6 feuilles) ont été repiqués, en raison d'un plant par pot.

2.4 Suivis de la croissance

Elles ont été effectuées tous les 15 jours et ont porté sur : le diamètre au collet des plants (les mesures s'effectuaient à l'aide d'un pied à coulisse gradué en centimètre), la hauteur des plants (elle a été mesurée à l'aide d'un mètre ruban gradué en centimètre et portait sur les parties comprise entre le collet et le bout de la plus longue ramification), le nombre des feuilles et le nombre des rameaux latéraux (par un simple comptage).

2.5 Dispositif expérimental

La fertilisation a été prise à 4 niveaux de variation : terre de Fourmilière (F), Témoin (terre prélevée à 10 m de la fourmilière sans apport) (T), terre prélevée à 10 m de la fourmilière enrichie avec fumure Minérale (M), terre prélevée à 10 m de la fourmilière enrichie avec fumure Organique (O).

Le dispositif expérimental utilisé a été le bloc de ficher à 4 répétitions et chaque répétition est constituée de 4 traitements.

2.6 Traitement et analyse des données

Le logiciel Microsoft EXCEL a été utilisé pour le traitement et le calcul des moyennes.

Pour l'analyse de la variance, l'outil d'ANOVA de XLSTAT de Microsoft EXCEL à un facteur suivi d'un test de comparaison multiple a été utilisé pour déterminer les moyennes les écart-types. Les moyennes des mesures des plants des pots de terre de fourmilière (F), ont été comparées avec les plants des

pots enrichis avec la fumure organique (O), et de la fumure minérale (M) et du témoin (T) par le test de Newman-Keuls (SNK).

III. RESULTATS

3.1 Influence de la terre des fourmilières sur la croissance de la tomate

Au 15^{ème} Jour Après Repiquage (JAR), les plants tomate des pots contenant la terre des fourmilières ont un diamètre moyen au collet de $0,51 \pm 0,08$ cm, une hauteur moyenne de $15,25 \pm 2,375$ cm et un nombre moyen de $8,25 \pm 2,25$ feuilles.

Au 30^{ème} JAR, les plants ont un diamètre moyen au collet de $1,2 \pm 0,15$ cm, une hauteur moyenne de $41,42 \pm 3,21$ cm, un nombre moyen de $42,5 \pm 1,5$ feuilles, un nombre moyen de $2,75 \pm 0,375$ rameaux

Au 45^{ème} JAR, les plants ont un diamètre moyen au collet de $1,25 \pm 0,15$ cm, une hauteur moyenne de $42,62 \pm 3,56$ cm, un nombre moyen de 63 ± 4 feuilles, un nombre moyen de $2,75 \pm 0,5$ rameaux (Figure 1).

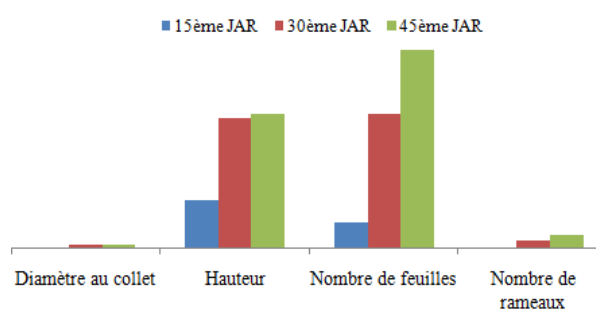


Figure 1: Evolution des paramètres agronomiques des plants de tomate des pots contenant la terre de fourmilière en 2015

3.2 Efficacité de la terre de fourmilière

3.2.1 Paramètres agronomiques au 15^{ème} jour après repiquage

La hauteur moyenne des plants est de 11,40 cm avec un écart type de 3,34 cm. L'ANOVA (intervalle de confiance à 95,00 %) avec le test de Newman-Keuls (SNK) a donné une différence significative entre les plants des pots de terre de fourmilière (F) et les plants des pots enrichis avec la fumure minérale (M) (Tableau 1).

Tableau 1: Classement et regroupements des traitements non significativement différents

Modalités	Moyenne (cm)	Regroupements	
Fourmilière	15,250	A	
Témoin	10,500	A	B
Fumure organique	10,500	A	B
Fumure minérale	9,375		B

Le nombre moyen du diamètre au collet est de 0,50 cm avec un écart type de 0,11 cm. L'analyse de variance avec le test de Newman-Keuls (SNK) n'a

donné aucune différence significative entre les 4 traitements.

Le nombre moyen des feuilles est de 7,43 avec un écart type de 1,96. Il n'y a pas de différence significative entre les traitements.

Au 15^{ème} jour après repiquage, les plants de tomate n'avaient pas de rameaux.

3.2.2 Paramètres agronomiques au 30^{ème} jour après repiquage

Au 30^{ème} jour après le repiquage, la hauteur moyenne des plants est de 32,40 cm avec un écart type de 9,73cm. L'analyse de variance avec le test de Newman-Keuls (SNK) n'a donné aucune différence significative entre les traitements.

La moyenne de diamètre au collet est de 0,78cm avec un écart type de 0,31cm. La moyenne de diamètre au collet des plants des pots avec de la terre de fourmilière est significativement différentes de la moyenne de diamètre des autres traitements (Tableau 2).

Tableau 2 : Analyse des différences entre les moyennes des diamètres au collet au 30^{ème} JAR

Modalités	Diff	Différence réduite	Valeur critique	Pr. > Diff	Significatif
F ~ O	0,673	4,702	2,969	0,002	Oui
F ~ M	0,510	3,566	2,668	0,010	Oui
F ~ T	0,490	3,426	2,179	0,005	Oui
T ~ O	0,183	1,276	2,668	0,434	Non
T ~ M	0,020	0,140			Non
M ~ O	0,163	1,136	2,179	0,278	Non

Le nombre moyen des feuilles est de 35,25 avec un écart type de 7,14. Il n'y a pas de différence significative entre les traitements.

Le nombre moyen de rameau est de 1,50 avec un écart type de 1,03. L'analyse de variance des données avec le test de Newman-Keuls (SNK) a donné une différence significative entre les plants des pots contenant la terre de fourmilières (F) et les autres traitements (Tableau3).

Tableau 3 : Analyse des différences entre les nombres moyens de rameaux collet au 30^{ème} JAR

Modalités	Différence	Différence réduite	Valeur critique	Pr. > Diff	Significatif
F ~ O	1,750	3,130	2,969	0,038	Oui
F ~ M	1,750	3,130	2,668	0,022	Oui
F ~ T	1,500	2,683	2,179	0,020	Oui
T ~ O	0,250	0,447	2,668	0,897	Non
T ~ M	0,250	0,447			Non
M ~ O	0,000	0,000			Non

3.2.3 Paramètres agronomiques au 45^{ème} jour après repiquage

La hauteur moyenne des plants est de 34,92cm avec un écart type de 9,01cm. Il n'y a aucune différence significative entre les traitements au 45^{ème} jour après repiquage.

La moyenne de diamètre au collet est de 0,89cm avec un écart type de 0,32cm. L'analyse de variance des données a donné une différence significative entre les plants de tomate des pots contenant la terre de fourmilières (F) et les plants de tomate du témoin (T).

Au 45^{ème} jour après repiquage, le nombre moyen des feuilles est de 49,75cm avec un écart type de 12,32cm. Il n'y a pas de différence significative entre les traitements.

Le nombre moyen de rameaux est de 3,18 avec un écart type de 0,98 (Figure 2).

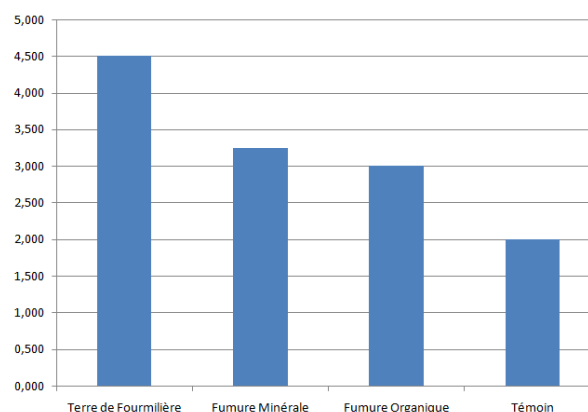


Figure 2 : Nombre moyen des rameaux de plants de tomate des différents traitements

La différence est significative entre les plants de tomate des pots contenant la terre de fourmilières (F) et les autres traitements. Les plants des pots de terre enrichis avec de la fumure organique et minérale sont significativement différents des plants du témoin (Tableau 4).

Tableau 4 : Analyse des différences entre les nombres moyens de rameaux collet au 45^{ème} JAR

Modalités	Diff	Différence réduite	Valeur critique	Pr. > Diff	Significatif
F ~ O	2,500	9,258	2,969	0,000	Oui
F ~ T	1,500	5,555	2,668	0,000	Oui
F ~ M	1,250	4,629	2,179	0,001	Oui
M ~ T	1,250	4,629	2,668	0,002	Oui
M ~ O	0,250	0,926	2,179	0,373	Non
T ~ O	1,000	3,703	2,179	0,003	Oui

IV. DISCUSSIONS

Les plants tomate des pots contenant la terre des fourmilières ont une croissance normale. Car la tomate préfère les sols humifères, riches en matières organiques, meubles, profonds, bien drainés avec un pH optimum de 6-7 [11].

Au 15^{ème} jour après repiquage, la hauteur moyenne des plants des pots de terre de fourmilière est supérieure à la hauteur moyenne des plants des autres traitements. Ceci s'explique par le fait qu'en début de végétation, les plantes de tomate réagissent beaucoup

au phosphore [11] et que la terre de fourmilière a une teneur élevée en phosphore assimilable [7].

Comme les fourmis utilisent la matière organique pour leurs nids [12], les terres des fourmilières ont été enrichies à la fois de carbone et d'azote [2] et de calcium, de magnésium, de potasse et de sodium [2, 3]. Au 30^{ème} jour après le repiquage, la moyenne de diamètre au collet des plants des pots avec de la terre de fourmilière est significativement différentes de la moyenne de diamètre des autres traitements car La tomate est gourmande en azote, en potasse et en magnésium [11].

L'azote est important pour le développement des feuilles de la tomate [11]. Au 30^{ème} jour après le repiquage, le nombre moyen de rameau est significativement différent des autres traitements. Car une des conséquences de l'activité des fourmis dans le sol est l'augmentation des activités microbiennes et la libération de nutriments minéraux tels que le nitrate d'ammonium [13, 14, 15, 5].

Au 45^{ème} jour après le repiquage, la différence est significative entre les plants de tomate des pots contenant la terre de fourmilières (F) et les autres traitements. Les plants des pots de terre enrichis avec de la fumure organique et minérale sont significativement différents des plants du témoin. Car, il est recommandé les doses suivantes pour la culture de la tomate : 30 t/de fumure organique, 100 à 150N, 60 à 120P2O5 et 100 à 200K2O. En plus de la fumure organique épandre 360kg/ha de sulfate de potasse, 360kg de phosphate d'ammoniaque. En fumure de couverture une semaine après la reprise, 100kg à l'ha d'urée et en début de floraison, 100kg/ha d'urée [11].

V. CONCLUSION

Les paramètres agronomiques des plants des tomates des pots contenant la terre de fourmilière ont évolué normalement. Au 15^{ème} Jour après le repiquage, les plants de tomate des différents traitements n'ont pas de différence significative.

Au 30^{ème} Jour après le repiquage, la différence est significative entre les plants des seaux contenant la terre de fourmilières et les autres traitements au niveau du nombre moyen de rameaux et de la moyenne de diamètre au collet.

Au 45^{ème} Jour après le repiquage, la différence est significative entre les plants des pots contenant la terre de fourmilières et les autres traitements au niveau du nombre moyen de rameaux.

Les plants des pots contenant la terre de fourmilières sont plus vigoureux que les autres traitements.

REFERENCES

[1] Lavelle P., Bignell D., Lepage M., Wolters V., Roger P., Ineson P., Heal O.W. and Dhillon S.,

1997. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *Eur. J. Soil Biol.* 33, 159–193.
- [2] Lobry de Bruyn L.A., Conacher A.J., 1990. The role of termites and ants in soil modification: a review. *Aust. J. Soil Res.* 28, 55–93.
- [3] Folgarait P.J., 1998. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. *Biodivers. Conserv.* 7, 1221–1244.
- [4] Konaté S., 1998. Structure, dynamique et rôle des buttes termitières dans le fonctionnement d'une savane préforestière (Lamto, Côte d'Ivoire). Le termite *Odontotermes* comme ingénieur de l'écosystème. Ph.D. Thesis. University of Paris VI, 245 pp.
- [5] Petal J., Chmielewski K., Kusin'ska A., Kaczorowska R., Stachurski A., Zimka J., 2003. Biological and chemical properties of fen soils affected by anthills of *Myrmica* spp. *Pol. J. Ecol.* 51, 67–78.
- [6] Jouquet P., Boulain N., Gignoux J., Lepage M., 2004. Association between subterranean termites and grasses in a West African savanna: spatial pattern analysis shows a significant role for *Odontotermes n. pauperans*. *Appl. Soil Ecol.* 97, 99–107.
- [7] Dupuis J., Verger F., 2015. *Les microreliefs dus aux fourmis et leurs caractères pédologiques*. In: Norois, n°41, Janvier-Mars 1964. pp. 5-15. doi : 10.3406/noroi.1964.7225. [En ligne]. Adresse URL : http://www.persee.fr/doc/noroi_0029182_x_1964_num_41_1_7225. (Page consultée le 12/01/2016)
- [8] Anderson, J.M. and Flanagan, P.. 1987. Biological processes regulating organic matter dynamics in tropical soils. In *Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems* (T. Oades, G. Uehara and D. C. Coleman, eds.) pp. 97±125. Honolulu: NifTAL Project, Univ. of Hawaii.
- [9] Brown M.J.F., Human K.G., 1997. Effects of harvester ants on plant species distribution and abundance in a serpentine grassland. *Oecologia* 112, 237–243.
- [10] Mokossesse J.A., Lepage M. et Josens G., 2009. Croissance en pots de quatre espèces végétales sur des substrats enrichis avec la terre de termitières de *Cubitermes*. *Tropicultura*, 27, 3, 168-175
- [11] Messiaenc M., 1979. *Le potager tropical*, 3. Cultures spéciales, 2^e édition, 515 pages.
- [12] Stradling D.J., 1978. Food and feeding habits of ants. In: *Production Ecology of Ants and Termites* (ed. M.V. Brian), pp. 81±106. Cambridge University Press, Cambridge

- [13] Abbadie L., Lepage M., 1989. The role of subterranean funguscomb chambers (Isoptera). *Soil Biol. Biochem.* 21, 1067–1071.
- [14] Brauman A., Fall S., Chotte, J.L., 2000. Caractéristiques organiques, physique et microbiologique du sol soumis à l'influence des termites. Etude comparative de deux espèces dominantes des sols en jachère (Haute-Casamance, Sénégal) In: Floret, Ch., Pontanier, R. (Eds.), *La Jachère en Afrique tropicale*. John Libbey Eurotext, Paris, pp. 308–316.
- [15] Dauber J., Wolters V., 2000. Microbial activity and functional diversity in the mounds of the three different ant species. *Soil Biol. Biochem.* 32, 93–99

Conservation des graines de quinoa au moyen de deux biopesticides : cas du *Cassia nigricans* et d'*Hyptis spicigera*, dans les conditions du Laboratoire de Biologie des Arthropodes et de Lutte Intégrée de l'IPR/IFRA de Katibougou

Adama KONE¹, Diakaridia SANOGO¹, Mamy Drissa COULIBALY¹, Laya KANSAYE², Aly SANGARE², Souleymane TRAORE², Amadou Konotie COULIBALY³

¹ Externes du Laboratoire

² Laboratoire de Biologie des Arthropodes et de Lutte Intégrée IPR/IFRA de Katibougou

³ Responsable du Laboratoire de Biologie des Arthropodes et de Lutte Intégrée IPR/IFRA de Katibougou

Adresse de correspondance : akonotie@yahoo.fr

RESUME: La qualité des semences constitue un atout majeur pour la sécurité alimentaire et l'un des facteurs les plus importants pour cette sécurité est le contrôle des conditions de conservation des graines. L'étude de la conservation des graines de quinoa, au moyen des extraits naturels de plantes, a été réalisée dans l'enceinte du laboratoire de Biologie des Arthropodes et de Lutte Intégrée de l'IPR/IFRA de Katibougou. Cette conservation a concerné huit (8) variétés de Quinoa produites en saison sèche froide suivant deux dates de semis et qui ont été soumises à ce test de conservation. Il s'agit de Bo25 ; Bo78 ; PRP ; PRJ ; UDeC-9 ; VI-1 ; REGALONA et Bol. Au départ un test de germination a été réalisé sur les différentes variétés. Ensuite on a conduit un test d'infestation artificielle consistant à introduire 6 larves d'*Attegenus* dans des boîtes de Petri de 9cm de diamètre contenant respectivement 10g de graine de quinoa de chaque variété avec 0,6g d'extrait respectivement de *Cassia nigricans* et de *Hyptis spicigera*. Un autre test a été effectué avec les mêmes variétés consistant à introduire dans des petits sacs de popeline, contenant des graines de quinoa (100g) respectivement des différentes variétés, des extraits de farine (6g) et (10g) d'appareil végétatif brut des mêmes plantes que précédemment. Les tests de la conservation ont duré trois mois. Des tests de germination anté et post expérimentalis ont été appliqués aux différentes variétés. Les tests de germination anté expérimentalis ont donné un pourcentage variant entre 12% et 86%. Les larves de *Attegenus* ont subi une mortalité plus élevée avec *Cassia nigricans* (66,66 - 100%) par rapport à *Hyptis spicigera* (50 - 100%). Les extraits farineux des plantes ont mieux entravé l'activité trophique des insectes de stock par rapport aux extraits bruts. Pendant ce temps, on a constaté que les graines ont subi moins d'attaques des insectes de stocks (soit 5,7% de perte dans l'ensemble). Les genres d'insecte rencontrés dans les stocks sont les larves et adultes de *Trogoderma granarium*, *Attegenus fasciatus* et de *Plodia interpunctella* qui ont été assez maîtrisés par les extraits avec une mortalité des larves et des adultes de ces ravageurs. En fin d'expérimentation de la conservation les variétés avaient perdu un peu de leur pouvoir germinatif qui variait entre 30% et 70%) suivant les variétés et le mode de conservation. Entre les variétés testées après la conservation c'est la variété PRP qui a été la moins performante en perdant le plus son pouvoir germinatif et le meilleur comportement a été constaté chez le VI-1 et BO78.

Mots clés: *Chenopodium quinoa*, Insectes de stock, Biopesticides *Hyptis* et *Cassia*

I. INTRODUCTION

Le Mali est un pays à vocation Agro-Sylvo-Pastorale par excellence, avec une superficie de 1 241 231km², dont 33% sont cultivables. L'agriculture joue un rôle prépondérant dans l'économie nationale et devient incontournable dans toutes les stratégies du développement national. L'exploitation des cultures céréalières et de la culture des fruits et légumes engendre des divises et permet aux producteurs de remédier aux problèmes alimentaires et de carences nutritionnels ainsi que la dotation en biens d'équipement.

De nos jours, l'agriculture se trouve confrontée à de sérieux problèmes qui sont d'ordre climatique, édaphiques, anthropiques ou autres calamités naturelles telle que la résilience climatique. Le monde de l'agriculture face à ces problèmes, est désormais à la recherche des voies et moyens lui permettant d'atteindre l'objectif de son autosuffisance alimentaire. Nombreuses stratégies sont de nos jours envisagées pour atteindre cette autosuffisance alimentaire : la maximalisation de la production agricole à travers l'application des itinéraires techniques et des paquets technologies, les progrès du génie génétique et de la biotechnologie. L'amélioration variétale par rapport

aux résiliences climatiques semble primordiale pour atteindre l'autosuffisance alimentaire en Afrique. Cependant pour atteindre cet objectif, en d'autres termes, il ne s'agira plus seulement de la quantité mais de la richesse des aliments en nutriment donc de la qualité des aliments. Ainsi de la sécurité alimentaire on passe obligatoirement par la souveraineté alimentaire pour atteindre l'autosuffisance alimentaire. C'est alors qu'outre les banques de gènes, les semences traditionnelles paysannes constituent une alternance de grandes valeurs et qu'on baptise désormais sous le vocable de semences « *Campesino-Campesino* » adaptées aux changements climatiques.

Rappelons qu'aujourd'hui dans le cadre de l'amélioration variétale, nombreux progrès sont réalisés et myriades de résultats sont enregistrées à travers la sélection simple, la mutagenèse et les transgénèses. Cependant le monde reste affamé, autrement dit il reste encore beaucoup à faire pour alimenter la population planétaire. Ce qui rend plausible la nécessité de la diversification alimentaire. Dans ce cadre les légumes sont très importants dans l'alimentation de l'homme. De nombreux études montrent qu'il existe une relation entre les légumes et les graves maladies universelles tel que le cancer, les maladies cardio-vasculaires. On peut dire que l'un des facteurs les plus importants de l'anti-cancer se trouve dans l'abondance des antioxydants naturels des légumes telles que les vitamines C et E et les betas Carotènes. Ils contiennent d'autres substances à activité anti oxydante tels que les flavonoïdes, flavones et poly phénols. *Chenopodium quinoa willd* est un pseudo céréale très riches en ce principe alimentaire. En Outre il est très riche en lysine et méthionine déficients chez les autres céréales. Le Quinoa a d'ailleurs été sélectionné par la FAO comme étant l'aliment destiné à offrir une sécurité alimentaire pour les prochains siècles (Jacobsen, 2003). Compte tenu de la quasi similitude du climat d'origine de cette culture avec certaines zones climatiques Africaines, certains chercheurs du continent africain espèrent dans l'avenir l'adapter aux conditions climatiques de leur pays malgré la diversité des stressés abiotiques et biotiques. Toutefois si cette graine dans son pays d'origine subit peu ou pas d'attaque de la part des insectes au cours de l'entreposage, dans son pays d'introduction tel que le Mali, elle est flagellé par différents insectes des stocks dont le nombre croit au cours des années successives. Cette étude vise à endiguer l'impact des insectes pendant le stockage aux moyens des extraits naturels des plantes.

II. OBJECTIF GÉNÉRAL

- Contribuer à la sécurité alimentaire.
Objectifs spécifiques

- Identifier les ravageurs du quinoa en stockage;

- Déterminer l'effet des différents biopesticides sur les insectes des graines de quinoa en stockage ;
- Déterminer l'énergie germinative des graines du quinoa

III. MATÉRIELS ET MÉTHODES

II. Test de germination sur le coton hydrophile :

Concernant le matériel végétal, un test de germination préliminaire a été effectué pour se situer par rapport à la faculté germinative des semences à conserver. Ce test consistait à mettre en vernalisation (figure 1) une certaine quantité de graine pendant 24 heures dans un incubateur pour qu'ils prennent une certaine quantité d'humidité avant le test.



Figure 1: Graines en vernalisation dans un incubateur



Figure 2: Graines germées sur barquette

Le lendemain 50 graines de chaque variété sont placées dans des barquettes sur des compresses renforcées par du coton hydrophile humecté d'eau. Le nombre de graines germées (les radicules d'au moins 1cm de long et éventuellement les cotylédons), sont dénombrées les 4 jours suivant le semis (figure 2).

Les principaux tests portaient sur les échantillons de semences de quinoa de deux dates de semis au mois

de novembre 2013 avec un intervalle de deux semaines. Les huit variétés de quinoa que nous disposons à savoir BO78, PRP, UDeC-9, VI-1, BO25, PRJ, REGALONA et BOL, ont fait l'objet des tests de germination avant et après la conservation avec les différents biopesticides.

Conservation des graines avec des bios pesticides

Le test, concernant les échantillons de quinoa des huit variétés obtenues à partir des deux dates de semis et conservés pendant trois mois, était de deux niveaux :

- Test d'infestation artificielle dans des boîtes de Pétri

Ce test d'infestation provoquée a pour but de déterminer l'effet de ces deux produits sur ces insectes en conservation dans des boîtes de pétri avec 6 larves d'insecte du genre *Attagenus* dans 10 g de grains de quinoa et 0.6 g de poudre de bio pesticide (cas de *Cassia nigricans* et *Hyptis spicigera*) pour chaque variété dont les boîtes étaient numérotés A B T et le troisième (T) est le témoin des autres boîtes pendant trois mois de conservation dont l'observation se faisait à la fin de chaque mois.



Figure 3: Conservation en boîtes de Pétri



Figure 4: Conservation dans sacs en popeline

- Test d'infestation naturelle des graines en conservation dans des sacs en popeline

Ce test consistait à mettre en conservation les semences de huit variétés de quinoa dans des petits sacs en popeline avec les extraits des biopesticides (extrait poudre et Appareil végétatif sec de *Cassia nigricans* et *d'Hyptis spicigera*) afin de conserver le stock pendant trois mois. La dose utilisée est de 6 g pour chaque type d'extrait de bio pesticide. Ces produits ont été mis dans des petits sacs contenant 100 g de graines de quinoa. Ce test avait pour but, de comprendre avec quel type d'extrait de bio pesticide, le quinoa se conserve mieux.

Observation entomologique

Cette observation a consisté au dénombrement des différents insectes présents dans le stock

pendant les trois mois de conservation.

RESULTATS

A l'issue des tests, les résultats obtenus sont consignés dans les figures et tableaux ci-dessous.

Impact des dates semis sur le pouvoir germinatif du quinoa

Première date de semis

L'évolution des radicelles

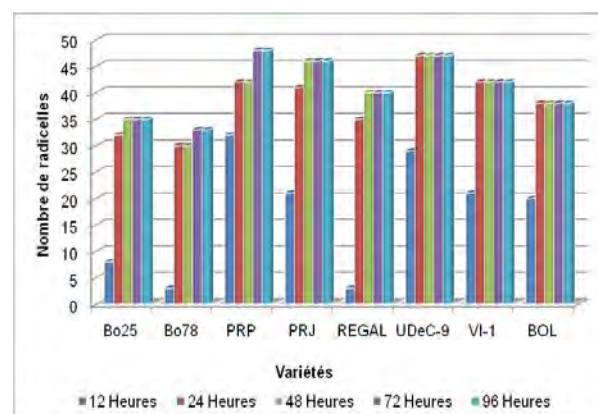


Figure 5: Nombre de radicelles apparues au bout de quatre jours

En suivant l'apparition de radicelles de chaque variété quatre jours suivant le semis, il apparait que les écotypes **UDeC-9** ; **PRP** ont eu le maximum de graines ayant poussé des radicelles (au moins un 1cm de long environ) respectivement 86,8% et 84,8% et le plus faible a été constaté chez le **BO78** avec 51,6%.

• **L'évolution des cotylédons 1^{ère} date**
Durant les 4 jours d'observation en suivant

l'apparition et l'étalement des cotylédons qui vont laisser émerger la future plantule, on s'aperçoit qu'après 24 heures nous avons commencé à voir l'étalement des premiers cotylédons, ce phénomène devient important aux heures suivantes.

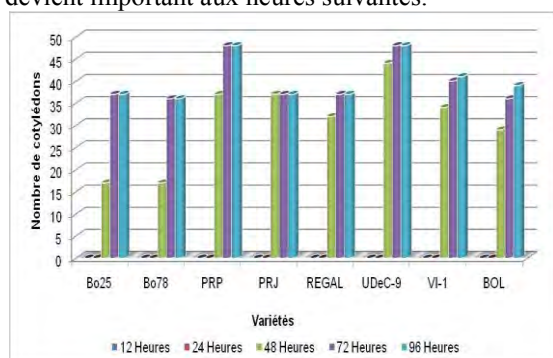


Figure 6: Nombre de cotylédons apparus au bout de quatre jours

Au bout de 96 heures on s'aperçoit que toutes les graines fertiles ont germé chez la majorité des variétés. Ce qui indique que le quinoa a une germination assez accélérée et élevée. C'est **PRP** et **UDeC9** qui ont les taux les plus élevés (94%) alors que la plus faible se trouve avec **BO78** et **BOL** (70 et 74%).

Deuxième date de semis

L'évolution des radicelles 2^{ème} date de semis

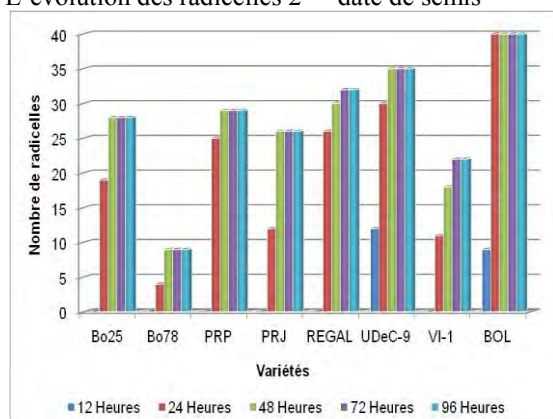


Figure 7: Nombre de radicelles apparues au bout de quatre (4) jours

En suivant la poussée des radicelles des graines de quinoa nous avons remarqué que les graines de la variété **UDeC-9** et **BOL** ont commencé à pousser des radicelles au bout de 12 heures et au bout de 24 heures pour les autres variétés et en 96 heures la variété **BOL** a été plus performant avec 67,6% et le plus faible est le **BO78** avec 12,8%.

- L'évolution des cotylédons 2^{ème} date

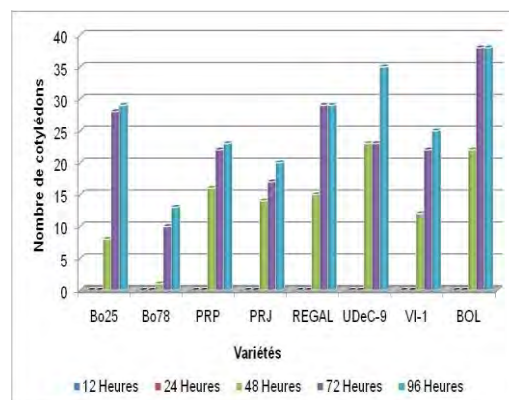


Figure 8: Nombre de cotylédons apparus au bout de quatre jours

En suivant l'apparition des cotylédons pendant les 4 jours d'observation nous avons constaté que la variété **BOL** domine les autres tandis que le plus dominé est le **BO78**.

Impact des biopesticides sur les ravageurs de stock du quinoa

Effets des biopesticides sur la mortalité d'*Attagenus* en infection artificielle

Après trois mois de conservation des graines de quinoa dans les boîtes de Pétri avec les larves d'insectes du genre *Attagenus* nous avons constaté que par l'effet du produit il y a eu beaucoup de mort chez les graines conservées avec *Cassia nigricans* par rapport à celles conservées avec *Hyptis spicigera*.

- **Cassia**

Tableau 1 : Résultats des graines conservées avec *Cassia nigricans* dans les boîtes de Pétri

Variétés	Biop	Nombre insecte mis en boîte	Nombre insecte mort	% insecte mort
BO25	Biop	6	6	100
	Témoin	6	1	16,66
BO78	Biop	6	6	100
	Témoin	6	2	33,33
PRP	Biop	6	6	100
	Témoin	6	1	16,66
PRJ	Biop	6	4	66,66
	Témoin	6	4	66,66
REGAL	Biop	6	6	100
	Témoin	6	3	50
UDEC-9	Biop	6	6	100
	Témoin	6	6	100
VI-1	Biop	6	6	100
	Témoin	6	2	33,33
BOL	Biop	6	6	100
	Témoin	6	4	66,66

- *Hyptis*

Tableau 2: Résultats des graines conservées avec *Hyptis spicigera* dans les boîtes de Pétri

Variétés	Biop	Nombre insecte mis en boîte	Nombre insecte mort	% insecte mort
BO25	Bio	6	6	100
	Témoin	6	1	16,66
BO78	Biop	6	3	50
	Témoin	6	5	83,33
PRP	Biop	6	3	50
	Témoin	6	3	50
PRJ	Biop	6	3	50
	Témoin	6	6	100
REGAL	Biop	6	3	50
	Témoin	6	5	83,33
UDEC-9	Biop	6	3	50
	Témoin	6	4	66,66
VI-1	Biop	6	3	50
	Témoin	6	4	66,66
BOL	Biop	6	3	50
	Témoin	6	5	83,33

Evolution des pertes en matière sèche des grains dues à Attagenus en infection artificielle

Systématique des insectes rencontrés			
Ordres	Familles	genre	Espèce
Coléoptère	Dermentidae	<i>Attagenus</i>	<i>Fasciatus</i>
Epidoptère	Phycitidae	<i>Plodia</i>	<i>interpuntella</i>
Coléoptère	Dermentidae	<i>Trogoderma</i>	<i>Granarium</i>

- *Cassia*

Tableau 3 : Evolution des pertes en matière sèche des grains dues à *Attagenus* en infection artificielle avec *Cassia nigricans*

Variétés	Biop	Pds avt consvt	Pds après consvt	% des pertes en matière sèche
BO25	Biop	10	9,43	5,7

	Témoin	10	9,36	6,4
BO78	Biop	10	9,43	5,7
	Témoin	10	9,47	5,3
PRP	Biop	10	9,43	5,7
	Témoin	10	9,58	4,2
PRJ	Biop	10	9,41	5,9
	Témoin	10	9,39	6,1
REGAL	Biop	10	9,43	5,7
	Témoin	10	9,59	4,1
UDEC-9	Biop	10	9,43	5,7
	Témoin	10	9,55	4,5
VI-1	Biop	10	9,43	5,7
	Témoin	10	9,37	6,3
BOL	Biop	10	9,43	5,7
	Témoin	10	9,67	3,3

- *Hyptis*

Tableau 4 : Evolution des pertes en matière sèche des grains dues à *Attagenus* en infection artificielle avec *Hyptis spicigera*

Variétés	Biop	Pds avt consvt	Pds après consvt	% des pertes en matière sèche
BO25	Bio	10	9,43	5,7
	Témoin	10	9,34	6,6
BO78	Biop	10	9,43	5,7
	Témoin	10	9,46	5,4
PRP	Biop	10	9,43	5,7
	Témoin	10	9,60	4,00
PRJ	Biop	10	9,43	5,7
	Témoin	10	9,41	5,9
REGAL	Biop	10	9,43	5,7
	Témoin	10	9,41	5,9
UDEC-9	Biop	10	9,43	5,7
	Témoin	10	9,39	6,1
VI-1	Biop	10	9,43	5,7
	Témoin	10	9,52	4,8
BOL	Biop	10	9,43	5,7
	Témoin	10	9,57	4,3

Principaux insectes de stock rencontrés

Tableau 5 : Les insectes majeurs de stock de quinoa Effet des traitements sur le niveau d'infestation des semences conservées dans des sacs

- Appareil végétatif de *Hyptis spicigera*

Tableau 6 : Résultats du test de conservation dans les sacs avec l'appareil végétatif de *Hyptis spicigera*

Variétés	Traitemnts	Attagenus		Trogoderma		Plodia	
		Lv	Ad	Lv	Ad	Lv	Ad
BO25	Biop	1vivant	0	0	1mort	0	0
	Témoin	0	0	0	3	0	0
BO78	Biop	0	0	0	0	0	0
	Témoin	0	0	0	2	0	0
PRP	Biop	0	0	0	6morts	0	0
	Témoin	0	0	0	4	0	0
PRJ	Biop	0	0	0	0	0	0
	Témoin	0	0	0	0	0	1
REGAL	Biop	0	0	0	3morts	0	0
	Témoin	0	0	0	0	0	0
UDEc-9	Biop	0	0	0	0	0	0
	Témoin	0	0	0	0	0	0
VI-1	Biop	0	0	0	0	0	1mort
	Témoin	0	0	0	3	0	0
BOL	Biop	0	0	0	0	0	0
	Témoin	0	0	0	1	0	0

Avec 6g d'appareil végétatif sec d' *Hyptis spigicera* dans les semences des différentes variétés, la semence attaquée est la variété BO25 avec 1larve d' *Attagenus* sp et les insectes observés au niveau des autres variétés étaient tous morts tels que: REGALONA, PRP, VI-1, d'autre n'ont pas été attaqués. Les genres d'insectes sont les larves et adultes de *Trogoderma granarium*, *Attagenus* sp et de *Plodia interpunctella*.

Poudre de *Hyptis spigicera*

Tableau 7: Résultats du test de conservation avec la poudre de *Hyptis spigicera* dans les sacs.

Variétés	Traitemnts	Attagenus		Trogoderma		Plodia	
		Lv	Ad	Lv	Ad	Lv	Ad
BO25	Biop	0	0	0	1	0	0
	Témoin	0	0	0	3	0	0
BO78	Biop	0	0	0	0	0	0
	Témoin	0	0	0	3	0	0
PRP	Biop	0	0	1 vivant	2morts	0	0
	Témoin	0	0	0	3	0	0
PRJ	Biop	0	0	0	2	0	0
	Témoin	0	0	0	3	0	0
REGAL	Biop	0	0	0	0	0	0
	Témoin	0	0	0	3	0	0
UDEc-9	Biop	1mort	0	0	6morts	0	0
	Témoin	0	0	0	3	0	0
VI-1	Biop	0	0	11	0	0	0

	Témoin	0	0	0	3	0	0
BOL	Biop	0	0	2	0	0	0
	Témoin	0	0	0	3	0	0

Avec 6g d' *Hyptis spigicera* les variétés qui ont été sensibles aux attaques des insectes ont été BO25, PRP, VI-1, et BOL. Les genres d'insectes observés sont les larves de *Trogoderma*. Certaines variétés ont résisté car les insectes rencontrés chez eux étaient tous des cadavres par l'effet du produit et d'autres n'ont pas été attaqués.

***Cassia nigricans* Appareil végétatif**

Avec 6g d'appareil végétatif de *Cassia nigricans*, seule la variété PRJ a été sensible aux attaques des insectes du genre *Plodia interpunctella* et les autres ont résistés grâce à l'effet du produit.

Tableau 8: Résultats du test de conservation avec l'appareil végétatifs de *Cassia nigricans*

Variétés	Traitements	Attagenus		Trogoderma		Plodia	
		Lv	Ad	Lv	Ad	Lv	Ad
BO25	Biop	0	0	0	1mort	0	2mort
	Témoin	0	0	0	3	0	0
BO78	Biop	0	0	0	0	0	0
	Témoin	0	0	0	2	0	0
PRP	Biop	0	0	0	0	0	0
	Témoin	0	0	0	4	0	0
PRJ	Biop	0	0	0	0	2	0
	Témoin	0	0	0	0	0	1
REGAL	Biop	0	0	0	0	0	0
	Témoin	0	0	0	0	0	0
UDEc-9	Biop	0	0	0	0	0	0
	Témoin	0	0	0	0	0	0
VI-1	Biop	0	0	0	0	0	0
	Témoin	0	0	0	3	0	0
BOL	Biop	1mort	0	0	0	0	0
	Témoin	0	0	0	1	0	0

- poudre de *Cassia nigricans*

Tableau 9: Résultats du test de conservation avec la poudre de *Cassia nigricans*

Variétés	Traitements	Attagenus		Trogoderma		Plodia	
		Lv	Ad	Lv	Ad	Lv	Ad
BO25	Biop	3mort	0	0	2mort	0	0
	Témoin	0	0	0	3	0	0
BO78	Biop	0	0	0	0	0	0
	Témoin	0	0	0	3	0	0
PRP	Biop	0	0	0	0	0	0
	Témoin	0	0	0	3	0	0
PRJ	Biop	0	0	0	0	1	0
	Témoin	0	0	0	3	0	0
REGAL	Biop	0	0	0	0	1	0
	Témoin	0	0	0	3	0	0
UDEc-9	Biop	0	0	0	0	0	0
	Témoin	0	0	0	3	0	0

VI-1	Biop	0	0	0	1	0	0
	Témoin	0	0	0	3	0	0
BOL	Biop	0	0	0	0	0	0
	Témoin	0	0	0	3	0	0

Avec 6g de *Cassia* poudre les variétés attaquées sont PRP, REGALONA et VI-1. Les insectes rencontrés sont les larves de *Plodia* et adulte *Trogoderma*. Les attaques chez les autres variétés sont insignifiantes grâce à l'effet du produit.

Impact des biopesticides sur le pouvoir de germinatif du quinoa

. Comparaison entre les résultats des tests de germination avant et après conservation

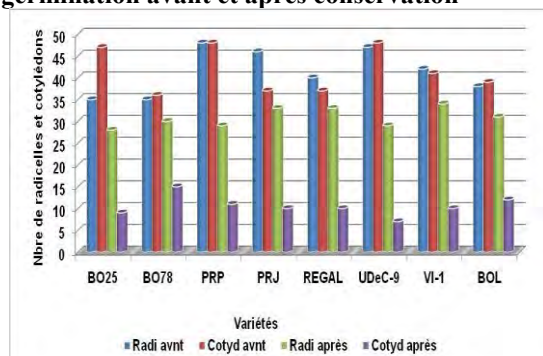


Figure 9: Comparaison du test de germination avant et après conservation avec *Hyptis spicigera* (Appareil végétatif)

En suivant l'évolution des radicules ainsi que les cotylédons on a constaté une diminution de pouvoir germinatif. La variété qui s'est montrée peu résistante au condition de conservation est la variété VI-1 et la moins résistante a été le Bo25.

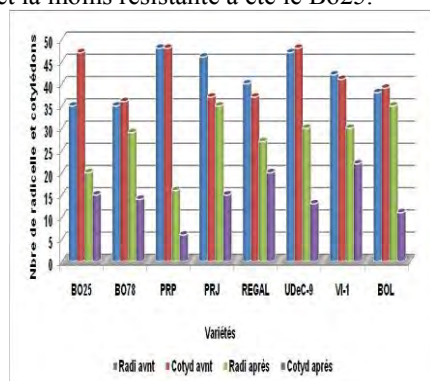


Figure 9 : Comparaison du test de germination avant et après conservation avec *Hyptis spicigera* (poudre)

Après le test, et après diminution de pouvoir germinatif chez toutes variétés, ce sont les variétés PRJ et BOL et la moins résistante a été le PRP.

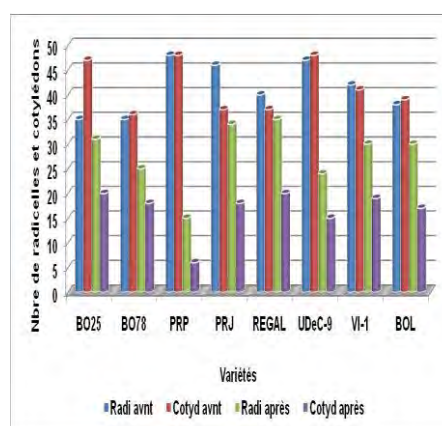


Figure 10: Comparaison du test de germination avant et après conservation avec *Cassia nigricans* (Appareil végétatif)

Après le test avec *Cassia nigricans* (Appareil végétatif) et après une diminution massive de pouvoir germinatif de toutes les variétés, c'est la variété REGALONA qui s'est montré un peu résistant que les autres, et le plus faible a été le PRP.

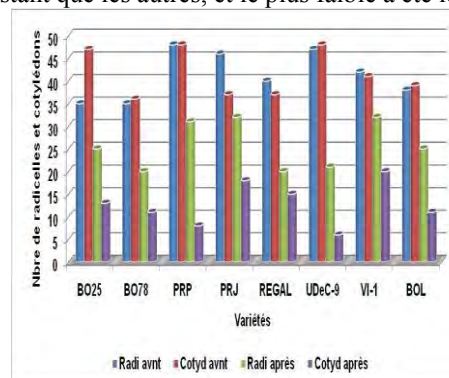


Figure 11: Comparaison du test de germination avant et après conservation avec *Cassia nigricans* (poudre)

Après le test avec *Cassia nigricans* (poudre) toutes les variétés ont perdues leur pouvoir germinatif et celle qui a mieux résisté est la variété UDeC-9 et VI-1 et les plus faibles ont été le Bo78 et REGALONNA.

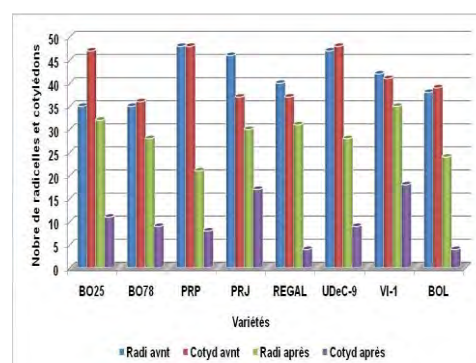


Figure 12 : Comparaison du test de germination avant et après conservation avec *Cassia nigricans* dans les boîtes de pétries

Après le test, toutes les variétés ont subi une diminution de leur pouvoir germinatif et c'est le VI-I qui a le mieux conservé son pouvoir germinatif et le plus faible a été le PRP.

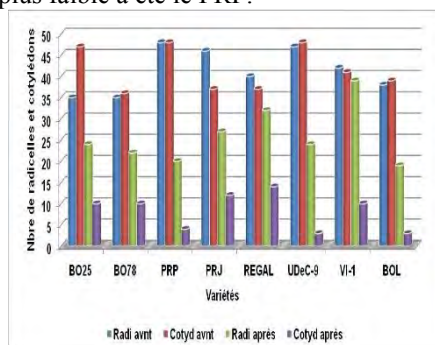


Figure 13: Comparaison du test de germination avant et après conservation avec *Hyptis spicigera* dans les boîtes de pétries

Après le test toutes les variétés ont subi une diminution de pouvoir germinatif. La variété qui s'est montrée un peu résistante est le VI-I et le sensible a été le Bol.

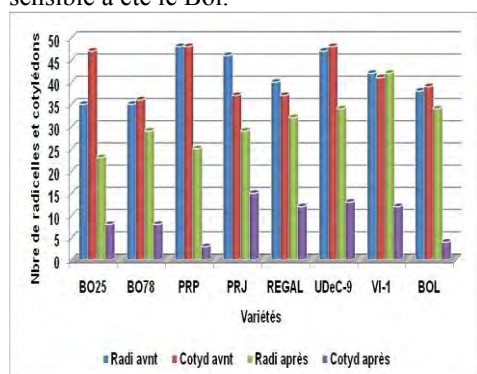


Figure 14: Comparaison du test de germination avant et après conservation des témoins des graines conservées dans les boîtes de pétries

Après le test, seule la variété VI-I qui a pu garder son pouvoir initial, suivi de BOL qui a subi une diminution de son pouvoir germinatif et la variété qui a perdu le plus son pouvoir germinatif est le Bo25.

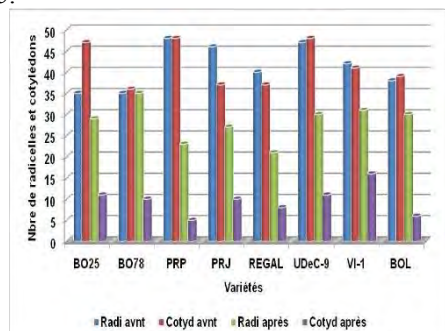


Figure 15 : Comparaison du test de germination avant et après conservation des Témoins des graines conservées dans les sacs

Après les test de germination on a constaté que seules les variétés **BO78** et **VI-I** des témoins ont gardés leur pouvoir germinatif, tandis que chez les autres variétés il ya eu une diminution de pouvoir germinatif et les variétés qui a perdus le plus son pouvoir germinatif est le **PRP** du *Cassia nigricans* Appareil végétatif suivie de **PRP** *Hyptis spicigera* poudre.

IV. CONCLUSION ET SUGGESTIONS

Au bout de trois (3) mois de conservation des graines de quinoa au moyen des extraits crus de *Cassia nigricans* et *Hyptis spicigera* (Appareil végétatif et poudre) nous avons constaté que les semences ont été moins attaquées par les insectes des stocks. Les quelques genres d'insectes rencontrés dans les semences sont les larves et adultes de *Trogoderma granarium*, *Attagenous fasciatus* et de *Plodia interpunctella*.

Une diminution du poids des graines des différentes variétés a été observée au cours de la conservation. On pourrait l'attribuer à l'activité trophique des déprédateurs.

Les tests de germination ont révélé que les différentes variétés ont perdu leur pouvoir germinatif au cours de la conservation à la température ambiante du labo pendant les trois mois. Entre les variétés testées c'est la variété PRP qui perd le plus facilement son pouvoir germinatif et les variétés VI-1 et BO78 ont gardé leur pouvoir germinatif.

Au terme de ce stage nous suggérons :

- ❖ La poursuite du test sur la conservation des graines de stocks des différentes variétés afin de trouver les meilleures conditions et la durée optimale de conservation en fonction des produits biopesticides utilisés ;
- ❖ d'approfondir la recherche pour parvenir à identifier la population des insectes des stocks et à connaître leur biologique ;
- ❖ de mettre à la disposition des chercheurs des appuis financiers et matériels pour permettre d'obtenir des résultats saillants, permettant une amélioration des conditions expérimentales et l'obtention d'une bonne production pour la vulgarisation de la culture du quinoa.

RÉFÉRENCES

- [1] COULIBALY M. 2013 : Conservation des graines de quinoa au moyen des extraits crus de *Cassia nigricans* et d'*Hyptis spicigera* dans les conditions du Laboratoire de biologie des arthropodes et de Lutte Intégrée de l'IPR/IFRA de Katibougou, Rapport de fin de cycle, 34 pages.
- [2] KONATE M.A., 2009 : Adaptabilité du *Chenopodium quinoa Willd* dans les conditions

- pédoclimatiques de Katibougou, Rapport de Fin de cycle, 47 pages
- [3] -CHEMAOU M., 2008 : Adaptation de la culture du quinoa (*C. quinoa*) dans les conditions Pédoclimatiques de l'IPR/IFRA de Katibougou, Rapport de Fin de cycle, 46 pages.
 - [4] -CROISSANT DE D.L. JOHSON ET DE R.L. 1990 : Production végétale et vente alternatives dans le Colorado, bulletin technique LTB90-3, prolongation coopérative, université de l'Etat du colorado.
 - [5] -CUSACK. D. 1984 : Quinoa : Grains des Incas L'écologiste
 - [6] -DELOBEL A. et TRAN M., 1993 : *Les coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans l*
 - [7] JACOBSEN., 2003 ; le quinoa : FAO, page 1
 - [8] *es régions chaudes* ; édit. Orstom/CTA ; 424 pages
 - [9] -JOHNSON. D . L. ET CROISSANT DE R . 1985 : production de quinoa dans le colorado service dans action 112. Cégep d'université d'état de colorado . Exterieurs picollins .
 - [10] ROBINSON R.G., 1986 : Amaranthe, quinoa, ragi, Tef, et graines minuscules du niger de l'histoire anthique et de l'intérêt moderne, université du Minnesota Agri. Station culturelles d'expériences, bulletin AD-SB-2949.

Etude comparative des modes de protections conventionnelle et biologique du cotonnier dans les conditions agro-pédo-climatiques de l'IPR/IFRA de Katibougou

Idi Walio IBRAHIM¹, Aly SANGARE¹, Ntò COULIBALY¹, Mohamed Kolon DIARRA¹, Amadou Konotie COULIBALY^{1*}

¹ Laboratoire de Biologie des Arthropodes et de Lutte Intégrée IPR/IFRA de Katibougou

¹ Responsable du Laboratoire de Biologie des Arthropodes et de Lutte Intégrée IPR/IFRA de Katibougou

*Adresse de correspondance : akonotie@yahoo.fr

RESUME: L'étude Comparative des Modes de Protections Conventionnelle et Biologique du Cotonnier dans les Conditions Agro-Pédo-Climatique de Katibougou a mis en compétition l'efficacité des produits biologiques à celui conventionnel de référence. L'essai a été conduit sur les grandes parcelles de l'IPR/IFRA sur un bloc de Fisher à trois répétitions avec six parcelles élémentaires chacune. Ainsi les différentes combinaisons de nos produits biologiques à savoir: Neem (½ kg) +Koby (100 ml) +*Physalis* (1250 g), Neem+Koby+*Physalis*+Urine de vache (100 ml à 10 %), Neem+ Koby+ *Physalis*+ Adhésif (composé de *Leptadenia* 30 g et du beurre de karité 100 ml), du *Bacillus thuringiensis* (1.5 litre dans 8.5 litre d'eau) ont été comparées à la cyperméthrine (1 litre dans 9 litres d'eau). Il ressort des quatre traitements effectués au cours de la campagne, une efficacité des produits bio sur les insectes tels que *Bemisia*, *Aphis*, *Dysdercus*, tandis que la cyperméthrine se montrait efficace sur ceux tels que *Anomis*, *Sylepta* et *Empoasca*. Quant aux carpophages, ils ont été relativement très faibles tout au long de la campagne à tel point qu'aucune conclusion n'a pu être tirée. Sur les entomophages, nos produits biologiques se sont mieux comportés en maintenant la population à des niveaux acceptables (variant entre 48 à 100% respectivement pour le Batik et Neem +Koby + *Physalis*, Neem +Koby + *Physalis* +Adhésif) alors qu'au même moment la cyperméthrine les réduisait de 32 à 0 %. Les différents rendements obtenus, ainsi que le poids capsulaire des traitements montrent des différences non significatives entre les produits biologiques et conventionnels.

Mots clés : Coton, insectes, biopesticides, cyperméthrine, *Bacillus thuringiensis*, urine de vache

I. INTRODUCTION

Le Mali est un pays d'agriculture par excellence avec une superficie de 1 241 231 km² dont environ 33% sont cultivables. Plus de 72% de la population (environ 12.000.000 d'habitants) appartient au monde rural (DNSI, 2000). Ce secteur joue un rôle prépondérant dans l'économie nationale et devient incontournable sur tous les plans stratégiques de développement national. Outre les cultures vivrières ce monde rural est activement engagé dans la production des cultures de rente tel que le coton.

Connu plus de cinq milles (5000) ans, le coton est la fibre textile la plus importante dans le monde, couvrant 50% des besoins de fabrication textile. Il est cultivé dans 70 pays et occupe 80 millions d'hectares. La Chine, l'ex URSS et les Etats-Unis sont les principaux producteurs. Le coton se cultive également dans des nombreux pays en voie de développement et dans ces pays plusieurs millions d'habitants dépendent pour leur survie de l'industrie textile. Dans le monde, la récolte

cotonnière annuelle équivaut à 23 milliards de dollars. (FAO, 2004).

Au Mali, la principale culture de rente reste le coton, qualifiée de nos jours “ **d'or blanc** ”, sa production a connu un essor considérable au cours des dix dernières années. Cette production contribue à plus de 10% du PIB et environ 50% des recettes d'exportation (MDR/SG 2000, Banque Mondiale 2000). En 1998, année d'excellence de la production, la superficie emblavée montait à plus de 500 000 ha et la production atteignait 518.000 tonnes de coton graine (MDR/SG 2000). Durant cette année, les producteurs du secteur ont gagné plus de 90 milliards de FCFA seulement avec le coton (VALENGHI et GUENAT, 2001). La zone cotonnière malienne s'étend sur environ 150 000 km² situés principalement au sud du fleuve Niger (VALENGHI 2000). Environ 158 000 exploitations regroupant 2 à 2,5 millions d'habitants travaillent dans le secteur. En vue d'améliorer le bilan économique et le potentiel de production de cette culture, le contrôle des ravageurs qui y sont associés demeure indispensable.

Cependant, malgré son importance socio-économique dans le monde en général, en Afrique et particulièrement au Mali, la culture du cotonnier se voit confrontée à des contraintes de divers ordres limitant sa production, parmi lesquelles la forte pression des ravageurs constitue l'une des plus importantes. Les rendements du coton varient beaucoup d'un pays à un autre et d'une année à une autre et apparaissent très souvent influencés par l'incidence des dégâts causés par les ravageurs dont principalement les insectes. L'entomofaune phytophage du cotonnier selon HARGREAVE (1948) rapporté par SIDIBE et COULIBALY (2000) est estimée jusqu'à 1326 espèces dont 482 sont signalées en Afrique au sud du Sahara ; et selon BAGAYOKO (2000) dans BORE et COULIBALY (2002), des 207 inventoriées au Mali, 123 ont pu être identifiées appartenant à 9 ordres. Selon CABANILLA et al 2003, les producteurs maliens de coton ont perdu en moyenne 500 kg/ha en 1999 et 200 kg/ha en 2001. Ce qui correspond respectivement à 42% et 17% du rendement. Ainsi, les dégâts de ces insectes s'ils ne sont pas contrôlés, peuvent atteindre dans les conditions d'infestations graves jusqu'à 100% de perte (GUERINI, 1990 ; Cité par SIDIBE, 2000).

Les moyens de luttas envisagés contre les ennemis du cotonnier sont essentiellement axés sur l'utilisation des molécules chimiques de synthèse. Deux à trois milliards de dollars sont ainsi dépensés pour les achats de pesticides, soit 25% du chiffre d'affaires total des pesticides vendus sur le marché mondial (STOLL, 2002). Près de 25% de la production mondiale d'insecticide est consacrée au coton (STOLL, 2002). L'Afrique représente 2% du marché mondial d'insecticide (WRI, 1998; FAO, 1998). Au Mali, 80% des pesticides importés sont utilisés en zone CMDT (CAMARA et al., 2001) d'où une estimation du marché des pesticides à 17 milliards de F CFA, représentant 1,9% du PIB et 6% des importations totales du pays (Rapport Narratif, 2002). Cependant, les conditions et les pratiques de l'utilisation de ces substances ne sont pas bien maîtrisées et elles conduisent à la pollution des eaux de surface et celles des nappes phréatiques, des terres, au développement de la résistance chez les organismes cibles, à l'élimination des ennemis naturels (prédateurs et parasitoïdes), à la perte de la diversité biologique et à l'accumulation des résidus toxiques dans les produits de récoltes, affectant ainsi la santé humaine et animale (WATSON et BROWN, 1978 ; PIMENTEL, 1978 dans COULIBALY, 1992). Il est à noter que quelques catastrophes écologiques sont à mettre sur le compte de culture conventionnelle du coton, l'assèchement à 80% de la mer d'Aral, les attaques d'insectes et de parasites en Chine, en Inde et au Pakistan (biorespect.com).

Face à cette situation alarmante, de nouvelles stratégies de luttas furent envisagées pour la défense des cultures de façon générale. Ainsi,

furent mises au point diverses méthodologies qui ont conduit au concept de la « lutte intégrée » ou « Integrated Pest Management » (IPM) terme anglo-saxon qui désigne une stratégie de lutte basée sur l'emploi limité des substances chimiques et pendant ce temps le recours à des techniques de luttas biologiques et agronomiques (COULIBALY, 1992). Parmi ces méthodologies un rôle primordial est joué par l'emploi des agents biologiques de contrôle (WAY, 1986 dans COULIBALY, 1992). Entre celles-ci les ennemis naturels ou encore les insectes entomophages prédateurs et parasitoïdes recouvrent une importance fondamentale dans les stratégies de lutte biologique contre les insectes phytophages de nos cultures. Ils sont non seulement une source de lutte naturelle inépuisable, gratuitement renouvelable, auto-reglable et surtout à faible coût (THOMAS et WAAGE, 1996). Actuellement beaucoup de recherches sont effectuées dans le monde entier en vue de promouvoir l'agriculture biologique et celle bio dynamique durable (BORE et COULIBALY, 2002).

Au Mali la culture du coton biologique a été entreprise sous l'impulsion de Helvetas (Association suisse pour la coopération internationale). Elle exclut l'usage des engrais chimiques, des pesticides de synthèse (SILGUY, 1994). Selon ce même auteur l'agriculture biologique peut largement contribuer à répondre aux préoccupations sociales et environnementales, tout en fournissant aux consommateurs des produits de qualités, aussi bien dans les pays nantis que dans les pays déshérités (agriculture biologique et équitable). Ainsi différents pesticides botaniques aussi appelés, bio pesticides eurent un essor important dans la Phytoprotection.

Au Mali, à l'instar de plusieurs instituts, l'IPR /IFRA à travers le Laboratoire de "Biologie des Arthropodes et de Lutte Intégrée" collabore avec Helvetas-Mali dans le cadre d'un Programme d'Appui aux Initiatives des Producteurs (PAIP). Cette collaboration porte sur la promotion de l'agriculture biologique en général et de la filière du coton biologique en particulier au Mali. Dans ce cadre le laboratoire mène des activités de recherche sur la production et la protection biologique du cotonnier avec comme objectif principal la mise au point d'une stratégie alternative de lutte contre les ravageurs du cotonnier.

Ainsi, l'effet des produits bio pesticides sur l'entomofaune du cotonnier est comparé à la formulation chimique avec une attention particulière sur les insectes entomophages, voire des possibles interactions entre les deux modes de protection et relever les données relatives aux rendements.

III. OBJECTIF GLOBAL :

- Mettre au point une stratégie de lutte intégrée contre les ravageurs du cotonnier.

Objectifs spécifiques :

- Comparer nos différents produits biologiques à la cyperméthrine chlorpyrophos
- Relever les données relatives à la dynamique de la population des ravageurs et de celle des auxiliaires du cotonnier en mode de protection biologique et conventionnelle.
- Déceler des possibles interactions entre les deux modes de protection.

IV. MATERIEL ET METHODES :**Matériels biologiques utilisés:**

Variété STAM-59A, la poudre d'amande de Neem, appareil végétatif entier de *Physalis*, l'huile des graines de koby, l'urine de vache, le Batik, la fumure organique d'origine bovine, l'adhésif composé de l'huile de karité et de *Leptadenia*.

Matériels inertes:

La cyperméthrine chlorpyrophos, le complexe coton 14-22-12-7 et l'urée. Des boîtes de pétri, des tubes à essai, une pipette, un filet de capture, des pinces, du coton hydrophile et des scotchs, des lièges et des planches, une loupe binoculaire et deux loupes portatives, un appareil ULV, des boîtes de collection, un appareil photo, une balance électronique, des aiguilles entomologiques, des cages d'élevage des insectes, des fiches techniques, un ordinateur, et une caisse de collection.

Tableau n°1: Répartition des traitements suivant les blocs.

Blocs				Traitements		
I	N+K+Phy +Adh	Bati k	To	N+K+Phy +Uv	N+K+Phy	Cyper
II	N+K+Phy +Uv	Bati k	Cyper	N+K+Phy	N+K+Phy+ Adh	To
III	Cyper	Bati k	N+K+Phy+ Adh	To	N+K+Phy	N+K+Phy +Uv

Ce tableau présente les notations désignées par les sigles : I, II, III qui représentent les blocs ; Les To indiquent les parcelles élémentaires témoins n'ayant pas reçues de traitement Phytosanitaire; les sigles (N+K+Phy), (N+K+Phy+Uv) et (N+K+Phy+Adh) indiquent respectivement les parcelles élémentaires traitées avec les bio pesticides à base de (Neem+Koby+physalis), (Neem+Koby+Physalis+Urine de vache) et (Neem+Koby+Physalis+Adhésif); Batik représente les parcelles élémentaires traitées avec le microbiopesticide *Bacillus thuringiensis* et enfin Cyper désigne les parcelles élémentaires traitées avec le pesticide de synthèse Cyperméthrine 186g /l CE.

Tableau n°2 : Récapitulatif des quantités de produits utilisés par hectare.

Produits	Dose par hectare

Facteurs étudiés :

Le facteur étudié est l'influence des produits chimique et biologiques sur la dynamique des ravageurs et leurs auxiliaires.

Dispositif expérimental :

Le dispositif utilisé est un bloc de Fisher à 3 répétitions.

Dans chaque bloc, tous les traitements de l'essai sont représentés une seule fois. Ainsi, le principe du dispositif nous a conduit à former trois groupes d'unités expérimentales correspondant à un bloc chacun. Chaque bloc comporte six (6) parcelles élémentaires. Les parcelles sont longues de 30m et larges de 4.8m. Les blocs sont équidistants de quatre (4) mètres, les parcelles élémentaires de deux (2) mètres. La superficie totale d'une parcelle élémentaire est de 144 m², celle d'un bloc, 1164 m². L'essai couvre une aire totale de 3732 m² dont 2592m² réellement exploitée. Le coton est semé aux écartements de 0.80*0.40 m avec un démarrage de deux plans par poquet ce qui donne une densité de 62500 plants par hectare.

Traitements :

L'essai comporte six traitements qui sont: N+K+Phy, N+K+Phy+Uv, N+K+Phy +Adh, Batik, Cyper et le témoin. Ces traitements sont affectés aux parcelles élémentaires bloc par bloc par un tirage au sort sans remise. L'ensemble de ces tirages est porté dans le tableau ci-dessous:

Cyper	1 litre dans 9litres d'eau
Batik	1.5 litre dans 8.5litre
Neem	½ kg dans 10litres d'eau
Koby	100 ml d'huile de koby
<i>Physalis</i>	1,250 kg
<i>Leptadenia</i>	30g
Beurre de karité	100 ml
Urée	50 g
Complexe	150 g
Urine de vache	Diluée à 10%

1.2.4.- Observations agronomiques :

Les observations ont porté sur : le nombre théorique de plants par parcelle, le nombre moyen de plants, le nombre moyen de capsules saines, le nombre moyen de capsules attaquées,

le poids moyen de coton graine de 15 capsules, l'estimation du rendement.

Observations entomologiques :

Trois carrés d'observation (parcelle utile) ont été placés dans chaque parcelle élémentaire à la date du 22 juillet 2005, ils sont distants de 9,50 m et 1m sépare les carrés extrêmes des bordures de chaque parcelle.

C'est à l'intérieur de ces carrés que se déroulent les observations tant agronomiques qu'entomologiques hebdomadaires. Elles portent sur les deux lignes centrales de semis de chaque carré et concernent tous les organes aériens de la plante. Elles consistent à recenser les insectes ravageurs et ceux entomophages, à tous les stades de développement et à effectuer des échantillonnages. Les entomophages prédateurs sont observés en activité au champ. Les échantillons sont apportés au laboratoire et nourris avec le substrat trophique sur lequel l'insecte a été récolté dans l'esprit de rencontrer des éventuels entomophages parasitoïdes qui s'y développeraient. Les adultes des insectes échantillonnés après quelques jours de suivi sont sacrifiés, identifiés puis préparés et conservés dans des caisses de collection en mentionnant les références utiles (lieu de capture, date, nom, genre, famille, spéculation) sur l'étiquette qui les accompagne pendant la conservation.

Les collections sont protégées contre les insectes saprophages à l'aide de naphthaline.

La compilation des renseignements se fait par le remplissage des fiches techniques et qui commence depuis les observations des insectes sur les parcelles tout en se poursuivant au laboratoire. Chaque fiche technique est divisée en deux parties, l'une réservée aux phytophages et l'autre aux entomophages.

Les traitements insecticides et bio insecticides se font sur la base de seuil enregistré sur les parcelles à traiter. Certes ce seuil dans notre cas varie en fonction de l'insecte comme par exemple 10 individus par carré utile pour les piqueurs suceurs et 2 individus pour les papillons. C'est ainsi qu'on fit treize observations hebdomadaires du 23 juillet au 15 octobre 2005 aboutissant à quatre traitements phytosanitaires (le 31/ 07; 28/ 08; les 11, 25/ 09/ 05).

V. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Observations agronomiques

Estimation du rendement :

L'estimation du rendement a été calculée sur la base du nombre de plants par carré utile, le nombre de capsules saines sur trois plants par carré, le poids de coton graine pour cinq capsules par carré et le poids total de coton graine des trois carrés utiles de chaque parcelle. Ce qui se résume dans le tableau n°5.

Tableau n°3 : Rendements obtenus suivant les traitements.

Traitements	Répétitions	Rdmtmoy/parcelle élémentaire (kg)	Rdmt moy/trait (kg)	EstimRdmt moy/ha (tonnes)
Témoin	I	27.10	68.400	1.580
	II	13.80		
	III	27.50		
N+K+Phy	I	18.30	71.400	1.650
	II	26.30		
	III	26.80		
N+K+Phy +Uv	I	20.80	63.600	1.470
	II	22.80		
	III	20.00		
N+K+Phy +Adh	I	23.10	72.400	1.670
	II	21.50		
	III	27.80		
Batik	I	24.60	66.200	1.530
	II	25.10		
	III	16.50		
Cyper	I	32.00	90.000	2.080
	II	34.00		
	III	24.00		

Le récapitulatif montre d'une part que le rendement obtenu au champ avec les différents traitements biologiques varie très peu d'un produit à un autre et se situe dans la fourchette de 1.500 tonnes contre 2 tonnes obtenus avec la cyperméthrine.

Notons toutefois que le témoin a eu le même record que ces produits sinon dépassant la formulation avec l'urine de vache et le Batik. Ceci pourrait s'expliquer par l'action du ruissellement ayant drainé la fumure organique de ces parcelles légèrement surélevées et qui ont aussi souffert de la crise précoce de la pluie en fin de saison. Statistiquement on aboutit à la conclusion suivante:

TABLEAU N°4 : Analyse de variance par traitement des rendements moyens.

Source de variation	SCE	ddl	Variance	F calculé	F théorique 5% 1%	Signification
Variation totale	442.52	17	-	-	-	
Variation blocs	0.97	5	0.48	0.016	4.10 7.56	NS
Variation traitement	147.22	2	29.44	0.99	3.33 5.64	NS
Variation erreur	295.55	10	29.55	-	-	-

CV % = 22.64

Ce qui indique que dans les conditions d'implantation de cet essai la détermination de F calculé et F théorique montre que l'hypothèse d'égalité des traitements H_0 est acceptée au seuil de signification 5%. D'où l'inexistence de différence

significative entre les traitements du point de vue rendement.

Estimation du poids capsulaire

Cette estimation du poids capsulaire s'est basée sur la moyenne de cinq capsules récoltées au hasard dans chaque parcelle élémentaire.

Le calcul de la variance nous permettra de classer avec précision les différentes moyennes obtenues.

Tableau n°5: Moyenne des poids capsulaires par traitement et par répétition.

Blocs	Traitements					
	Temoins	N+K+Phy	N+K+Phy+Uv	N+K+Phy+Adh	Batik	Cyper
I	4.37	4.92	4.86	4.45	4.95	4.95
II	4.53	4.60	4.52	4.91	4.91	4.90
III	5.11	4.88	4.99	4.12	4.12	4.45
Total	14.01	14.40	14.37	13.98	13.98	14.30
Moyenne	4.67	4.80	4.79	4.49	4.66	4.76

Le tableau n°7 indique les différentes moyennes de poids capsulaires obtenus suivants les traitements (voir tableau)

- Calcul de la variance.

Tableau n°6: Analyse de variance par traitement des poids capsulaires.

Source de variation	SCE	ddl	Variance	F calculé	F théorique		Signification
					5%	1%	
Variation totale	1.28	17	-	-			
Variation blocs	0.02	2	0.01	0.08	5.64	7.56	NS
Variation traitement	0.06	5	0.012	0.1	3.33	4.1	NS
Variation erreur	1.2	10	0.12	-	-		

De ce tableau d'analyse de la variance il n'existe aucune différence significative entre les traitements, donc on conclut que les moyennes de poids capsulaires sont statistiquement égales. Ceci est conforme au résultat du rendement moyen obtenu avec les différents traitements mis en compétition.

Mais, il convient de signaler que les moyennes de poids capsulaires obtenues avec les formulations à base de *Physalis* et *Physalis* + urine de vache, sont sensiblement plus performantes. Le coefficient de variation, 6.08% est l'expression d'une assez grande précision des résultats.

Estimation du nombre de capsules saines et attaquées.

Pour l'estimation du nombre de capsules saines et attaquées, un échantillon de trois plants a été effectué dans chaque parcelle élémentaire.

Toutes les capsules de la grosseur d'une pousse attaquée ou non étaient concernées.

Estimation du nombre de capsules saines.

Le tableau suivant reporte les différentes moyennes obtenues par traitement.

Tableau n°8: Analyse de variance par traitement du nombre de capsules saines.

Source de variation	SCE	ddl	Variance	F calculé	F théorique		Signification
					5%	1%	
Variation totale	242.82	17	-	-			
Variation blocs	42.89	2	21.44	1.54	4.1	7.56	NS
Variation traitement	60.66	5	12.13	0.87	3.3	5.64	NS
Variation erreur	139.28	10	13.82	-	-		

Tableau n°7: Moyenne des capsules saines par traitement.

Blocs	Traitements					
	Témoins	N+K+Phy	N+K+Phy+Uv	N+K+Phy+Adh	Batik	Cyper
I	20.33	20.00	23.33	28.00	22.00	29.33
II	22.60	26.33	22.66	24.66	27.33	28.66
III	24.33	34.66	27.33	23.33	30.66	26.00
Total	67.32	80.99	73.32	75.99	79.99	83.99
Moyenne	22.44	26.99	24.44	25.33	26.66	27.99

Les différentes moyennes obtenues par ordre de grandeur enregistrées dans ce tableau montrent que c'est la cyperméthrine qui, avec 27.99 capsules saines, assure la meilleure protection, suivi de *Physalis* avec 26.99, de *Bacillus thuringiensis* avec 26.66, l'adhésif 25.33, l'urine de vache avec 24.44 et enfin naturellement le témoin non traité avec 22.44 de capsules saines.

- Calcul de la variance

Le tableau de variation montre que le F calculé est inférieur au F théorique, ainsi l'hypothèse d'égalité des traitements H_0 est acceptée au seuil de signification 5%. On conclut qu'il n'y a pas de différence significative entre les traitements du point de vue nombre de capsules saines.

Le coefficient de variation 14.55% est l'expression d'une assez grande précision des résultats.

Estimation du nombre de capsules attaquées

Le tableau suivant donne les différentes moyennes obtenues par traitement.

Tableau n°9: Moyenne des capsules attaquées par traitement

Blocs	Traitements					Cypers
	Temoi ns	N+K+ Phy	N+K+Phy +Uv	N+K+Phy +Adh	Batik	
I	5.66	3.00	2.66	5.00	5.00	4.66
II	8.66	5.33	6.66	7.00	5.33	4.33
III	8.00	8.00	8.00	6.00	6.66	5.66
Total	22.32	16.33	17.32	18.00	16.9 9	14.65
Moyenne	7.44	5.44	5.77	6.00	5.66	4.88

Il ressort de ce tableau que parmi les produits biologiques c'est l'adhésif qui a enregistré plus de capsules attaquées avec une moyenne de 6,00 suivi du *Physalis* + urine de vache 5.77, ensuite le batik 5.66 et enfin le physalis avec 5,44 et quant au témoin non traité se relevant avec 7.44 de capsules attaquées.

- Calcul de la variance

Tableau n°10: Analyse de variance par traitement du nombre de capsules attaquées.

Source de variation	SCE	ddl	Variance	F calculé	F théorique 5% 1%	Signification
Variation totale	48.5	17	-	-		
Variation blocs	23.36	2	11.68	8.34		
Variation traitement	11.07	5	2.21	1.57	3.31 5.64	NS
Variation erreur	14.07	10	1.40	-	-	-

Le tableau de variation montre que le F calculé est inférieur au F théorique, ainsi l'hypothèse d'égalité des traitements H_0 est acceptée au seuil de signification 5%. On conclut qu'il n'y a pas de différence significative entre les traitements du point de vue nombre de capsules attaquées.

Le coefficient de variation 20.19% est l'expression d'une assez grande précision des résultats.

Observations entomologiques

Interprétation des courbes de la dynamique des phytophages et des entomophages :

Les résultats obtenus sont présentés sous forme de tableaux de synthèse (voir annexe) pour les différents ordres d'insectes observés d'une part et d'autre part le graphique (courbe de dynamiques des populations) pour les principaux ravageurs et entomophages.

Sur chaque graphique est représentée l'évolution de la population de l'insecte donné sur le coton, biologique et conventionnel ainsi que sur le Témoin; ce qui donne alors six tracés par repère.

Chaque point de la courbe représente le cumul de la population de l'insecte considéré dans les carrés d'observation pour une date d'observation donnée.

Parmi les nombreux insectes rencontrés lors des observations certains insectes ont attiré notre attention non seulement à cause de leur importance économique sur la culture mais aussi de leur fréquence dans le temps. Ainsi, les phytophages retenus sont: (*Bemisia*, *Aphis*, *Empoasca*, *Dysdercus*, *Helicoverpa*, *Diparopsis*, *Earias*, *Spodoptera*, *Anomis*, *Sylepta* et pour les entomophages, on a les représentants des familles suivantes: Coccinellidae (*Scymnus*, *Cheilomenes*, coccinelle 1 et 2), Syrphidae et Braconidae (1 et 2). Retenons que toutes les familles d'entomophages retenues sont prédatrices sauf celle des Braconidae dont les individus sont des parasitoïdes.

Eu égard aux seuils de traitement observés, comme décrit dans la méthodologie, nous avons effectué quatre traitements aux dates du 31 juillet, 28 août, 11 et 25 septembre 2005 contre les insectes suivants: 1 *Bemisia*; *Aphis* et *Empoasca*; 2 *Bemisia*, *Dysdercus* et *Sylepta*; 3 *Bemisia*; *Dysdercus* et *Sylepta*; 4 *Dysdercus*.

Interprétation des courbes de la dynamique de la population des Phytophages:

Bemisia tabaci.

Bemisia a été présent sur toutes les parcelles avec une population constante et relativement élevée sur l'ensemble des parcelles d'observation. Suite aux deux premiers traitements, la population s'est maintenue de nouveau constante sur toutes les parcelles biologiques à l'exception du *Physalis* qui a tendance à fléchir sa population. Cependant sur les parcelles conventionnelles après un court temps, la population reprenait sa croissance exponentielle dépassant de très loin toutes les autres parcelles. A la veille de la deuxième série de traitement, la population était restée grandissante sur toutes les parcelles même si la cyperméthrine les dépasse de loin. Au cours de cette série, seul le Batik a eu un effet réducteur sur la population de cet insecte, alors qu'elle continuait toujours son ascension sur la cyperméthrine. Cette croissance exponentielle dans les parcelles à cyperméthrine résulte certainement

d'une résistance accrue de l'insecte au produit et d'une probable élimination de ses ennemis naturels.

Graphique n°1: Courbe de l'évolution de la population de *Bemisia* sp.

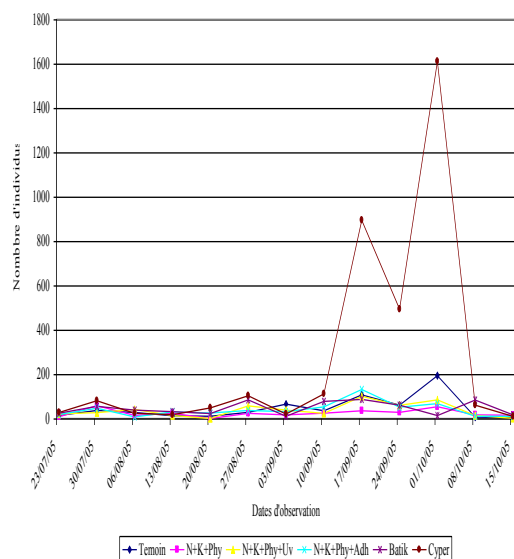


Figure 1 : Courbes de l'évolution de la population des *Bemisia*.

Ce résultat confirme ceux d'une part de SAGARA et COULIBALY, 1999; SIDIBE et COULIBALY, 2000, ainsi que mon prédécesseur KONE et COULIBALY, 2004 qui ont étudié la dynamique des ennemis naturels dans les conditions de traitement chimique et non et d'autre part ceux de SANGARE et COULIBALY, 2001; MOSER et al., 2002 qui ont à leur tour étudié les effets des extraits naturels sur les ravageurs du cotonnier soit à l'état simple ou mélangé au neem. Ces auteurs ont décelé respectivement une explosion de la population de l'insecte en fin de campagne dû à l'action de la cypeméthrine et une réduction de la population des piqueurs suceurs par les produits bio pesticides.

Dysdercus sp.

A la lumière de l'allure des courbes ci-dessus représentées, *Dysdercus* n'a commencé à s'épanouir sur nos parcelles qu'en début du mois de septembre, période au cours de laquelle il amorce une croissance exponentielle, dépassant largement le seuil. Cette phase correspond à la période de floraison, capsulaison et éclatement des capsules. Les deux premiers traitements, intervenus en fin du mois de juin et juillet ont diminué la population des adultes sur les parcelles traitées avec le *Physalis*, l'urine de vache et le Batik, tandis que cette population s'épanouissait dans l'adhésif et reste relativement constant dans la cyperméthrine. Quant aux deux derniers traitements, ils démontrent une efficacité accrue de la cyperméthrine qui a presque anéanti les adultes même si les nymphes y ont montré une résistance. Par rapport aux produits bio, le *Physalis*

ainsi que le Batik se sont bien comportés par rapport à l'adhésif et surtout de l'urine de vache qui n'a montré aucune efficacité.

Il est à noter que la même situation a été observée par SANGARE et COULIBALY, 2001; MOSER et al., 2002, par contre BORE et COULIBALY, 2002; CAMARA et COULIBALY, 2003 expérimentant seulement sur les combinaisons neem + koby sans addition du *physalis*, ont trouvé la cyperméthrine meilleure à ces produits. Ainsi nous en déduisons que le *physalis* a des vertus réductrices des piqueurs suceurs.

Empoasca sp.

Graphique n°2: Courbe de l'évolution de la population de *Dysdercus* sp.

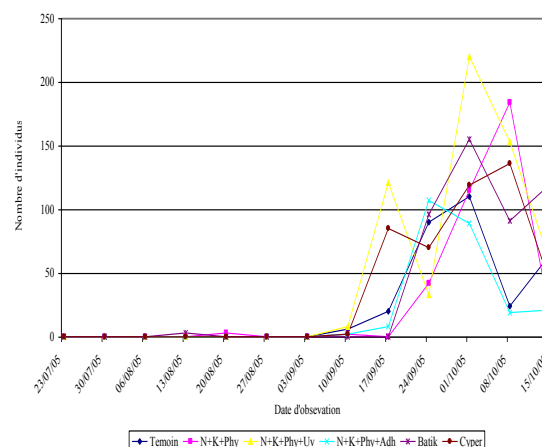


Figure 2 : Courbes de l'évolution de la population des *Dysdercus*.

Graphique n°3: Courbe de l'évolution de la population de *Empoasca* sp.

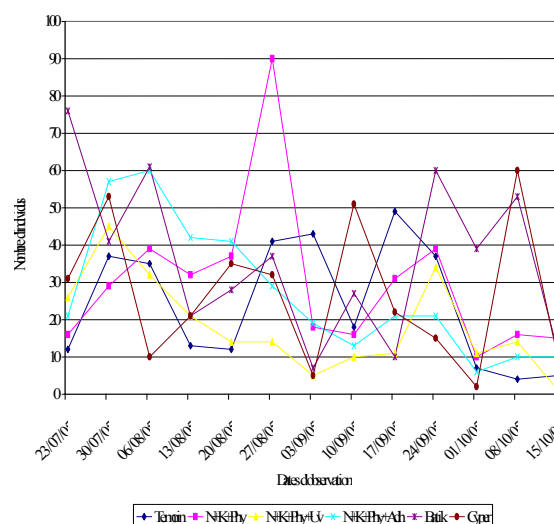


Figure 3 : Courbes de l'évolution de la population des *Empoasca*.

Les nymphes et les adultes de *Empoasca* sont apparus très tôt sur les parcelles d'expérimentation avec une population concentrée sur l'ensemble de l'essai.

La première série de traitement a diminué considérablement la population dans les parcelles à *physalis* et à cyperméthrine tandis qu'elle s'épanouissait dans l'urine de vache et l'adhésif.

Cette diminution a poursuivi sa décente au cours des deux derniers traitements dans les parcelles à *Physalis* et dans la cyperméthrine alors qu'elle continuait son ascension dans l'urine de vache et surtout dans l'adhésif.

Il ressort des quatre séries de traitements, une efficacité de la cyperméthrine qui dépasse légèrement le *Physalis* qui se place en tête des produits bio. Ces résultats confirment l'efficacité de *Physalis* sur les produits bio même si les récents résultats placent le Batik en tête suivi de l'urine de vache.

Graphique n°6: Courbe de l'évolution de la population de *Anomis sp.*

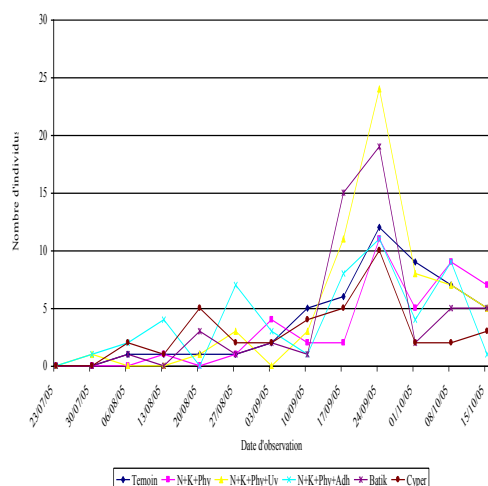


Figure 4: Courbes de l'évolution de la population des Aphides. *Aphis sp.*

Les Aphides sont apparus très tôt sur nos parcelles d'expérimentation avec une population relativement faible au début. C'est à partir du mois d'août que la population a augmenté de façon progressive sur l'ensemble de nos parcelles avec un pic très élevé dans le témoin.

Ainsi, le deuxième traitement à la date du 28 août a fléchi sa population sur toutes les parcelles même si le *physalis* s'est mieux comporté par rapport aux autres produits.

Quant au dernier traitement, il a révélé une fois de plus l'efficacité du *physalis* qui a diminué la population de l'insecte de moitié. Par contre quand Batik anéantissait la population de l'insecte elle augmentait sur la cyperméthrine. Il est à noter que cette population est restée grandissante dans les parcelles à cyperméthrine compte tenu de l'élimination éventuelle des ennemis naturels.

Ces résultats confirment une fois de plus les études précédentes effectuées sur cet insecte. L'effet des produits sur ce piqueur suceur est conforme aux

résultats observés sur *Bemisia* et *Dysdercus* par les études des auteurs précédemment cités.

Sylepta sp.

Graphique n°5: Courbe de l'évolution de la population de *Sylepta sp.*

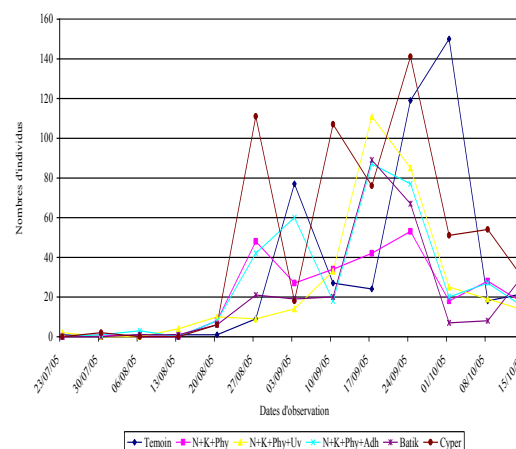


Figure 5: Courbes de l'évolution de la population des *Sylepta*.

Graphique4: Courbe de l'évolution de la population des *Aphis sp.*

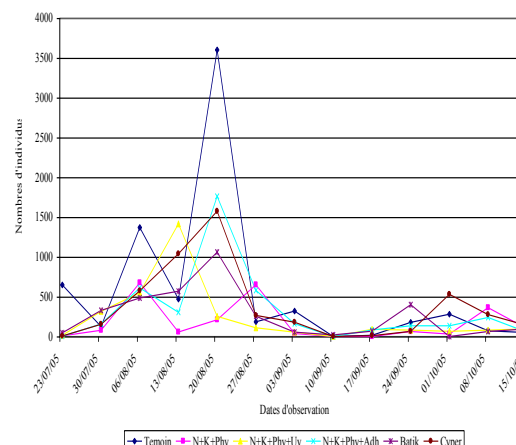


Figure 6: Courbes de l'évolution de la population de *Anomis*.

Sylepta s'est fait signaler depuis le début de nos observations avec une population faible et a entamé une croissance progressive soutenue en dents de scie sur certaines parcelles. L'application de la première série de traitements a provoqué une baisse de la population chez la cyperméthrine et *physalis* ainsi que l'urine de vache; par contre dans l'adhésif la population a poursuivi son ascension. Quant à la deuxième série des traitements ce fut cyperméthrine et batik qui fléchirent une fois de plus la population. Il convient de noter que l'urine abaisse la population mais à un niveau toujours relativement plus élevé par rapport aux autres produits. Suite aux différents traitements, on assiste à une meilleure maîtrise de la population par le cyper et N+K+Phy plus que le Batik et N+K+Phy+Uv et l'adhésif.

Parmi les bio pesticides seul le N+K+Phy a pu réduire le nombre de l'insecte de façon appréciable

lors des traitements. Aux deux derniers traitements les insectes s'étaient déjà enroulés dans les feuilles ce qui justifie l'inefficacité des produits contre ce ravageur.

Ces résultats confirment ceux de KONE et COULIBALY sur l'efficacité du *Physalis* au regard des autres produits bio.

Anomis sp.

Anomis n'a commencé à être important sur les parcelles qu'à la date du 20 août, date à laquelle il amorce une croissance en dents de scie. Ainsi, le deuxième traitement a fléchi sa population dans les parcelles à adhésifs et maintenue constante dans celles à cyperméthrine, tandis qu'elle augmentait dans le *Physalis*. Les deux derniers traitements qui ont coïncidé avec le pic le plus élevé, ont mis en évidence cette fois-ci l'efficacité de l'adhésif sur les autres produits.

Il est à noter que la cyperméthrine, le Batik et le *physalis* se sont également bien comportés au cours de ces deux derniers traitements.

Anomis semble avoir une résistance aux produits compte tenu de leur présence sur toutes les parcelles jusqu'à la fin des observations.

Helicoverpa sp.

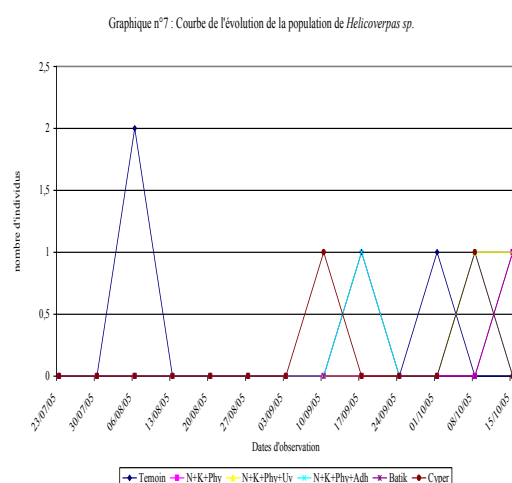


Figure 7 : Courbes de l'évolution de la population de *Helicoverpa*.

Le niveau de la population de cet insecte potentiel du cotonnier ne nous permet pas de se prononcer sur l'efficacité de nos différents produits.

Rappelons que selon les études de Moser et al., 2002, TOGO et COULIBALY, 2002, les combinaisons neem+koby tout comme au laboratoire que sur les parcelles provoquent une grande mortalité des Lv1 et Lv2 de *Helicoverpa*.

Diparopsis sp.

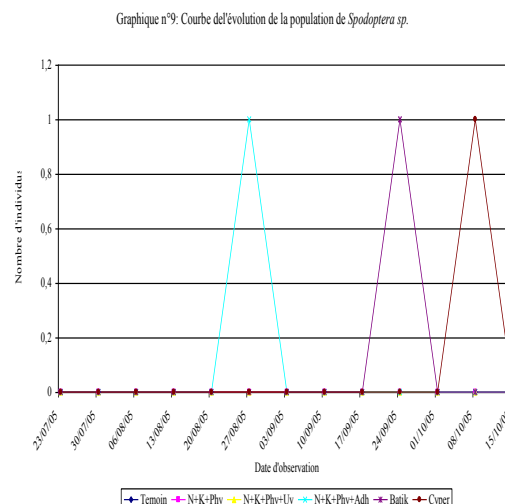


Figure 8: Courbes de l'évolution de la population de *Diparopsis*.

La dynamique de cet insecte qui fut presque absent tout le long du cycle végétatif du cotonnier ne permet pas de se prononcer judicieusement par rapport à l'activité des différents produits utilisés sinon qu'ils ont été tous répulsifs. Cependant on peut retenir que l'urine de vache ne semble pas trop nuire à cet insecte eu égard à la constance et au nombre assez appréciable d'individus rencontrés sur ces parcelles.

Spodoptera sp.

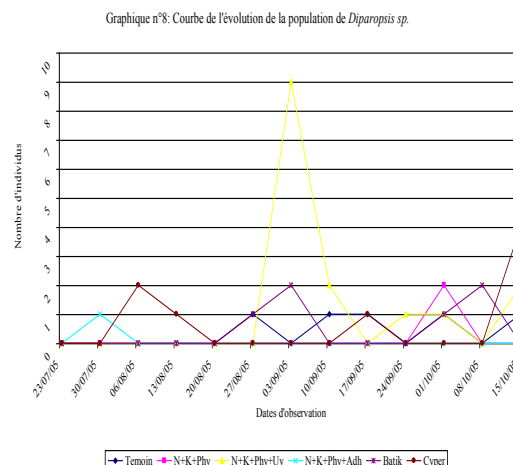


Figure 9 : Courbes de l'évolution de la population des *Spodoptera*.

Cette année n'a pas été du tout celle de *Spodoptera sp.* Sur les treize observations, trois individus seulement ont été rencontrés sur l'ensemble des carrés d'observation; ce qui ne nous permet pas de nous prononcer sur l'efficacité de tel ou tel produit.

Il est à noter que selon KUKLINSKI, 2000, à Madagascar, *Spodoptera* était réfractaire à la cyperméthrine et à la deltaméthrine, résistant ainsi au contrôle chimique et causant des dégâts très graves. Notons que selon les études de COULIBALY et BAGAHOKO, 2002, les

combinaisons neem+koby au laboratoire que sur les parcelles provoquaient une grande mortalité allant à environ 95 % des larves Lv1 et Lv2 de *Spodoptera*.

Earias sp.

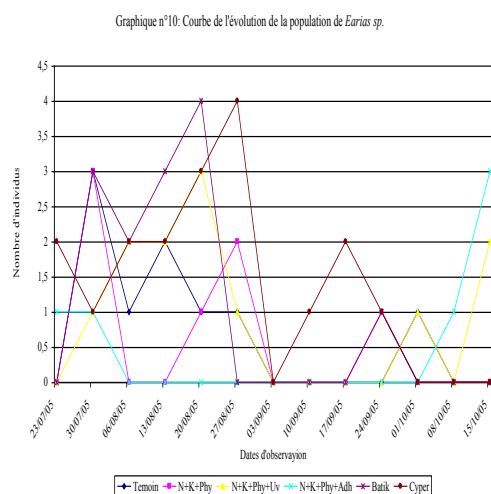


Figure 10 : Courbes de l'évolution de la population des *Earias*.

Une population xylophage relativement faible des *Earias* se présente dans certaines de nos parcelles dès les premiers instants de nos observations et n'a pas nécessité un traitement phytosanitaire. Avec les séries de traitements, cet insecte a disparu presque définitivement des parcelles et il n'y a pas eu la génération carpophage qu'en sporadiques individus. Ce qui ne nous permet pas de nous prononcer en faveur d'une formulation.

Remarquons que cette campagne tout comme l'année écoulée n'a pas été celle des carpophages Rappelons toutefois que selon les études de MOSER et al., 2002; TOGO et COULIBALY, 2002 les combinaisons neem+koby tout comme au laboratoire que sur les parcelles provoquaient une grande mortalité des Lv1 et Lv2 de *Helicoverpa*. BAGAYOKO et COULIBALY (2002) ont à leur tour observé au niveau du laboratoire avec différentes macérations du neem une mortalité allant à environ plus de 95 % des larves Lv1 et Lv2 de *Spodoptera*.

Graphique n°13: Courbe de l'évolution de la population des Syrphidae

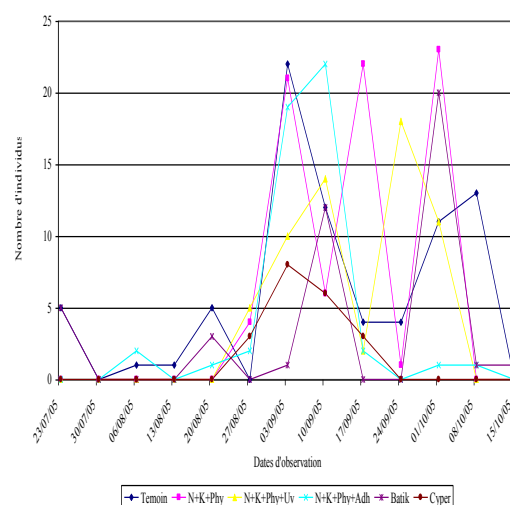


Figure 11: Courbes de l'évolution de la population des Coccinelles.

Interprétation des courbes de la dynamique de la population des entomophages:

Coccinellidae

Graphique n°11: Courbe de l'évolution de la population des Coccinellidae

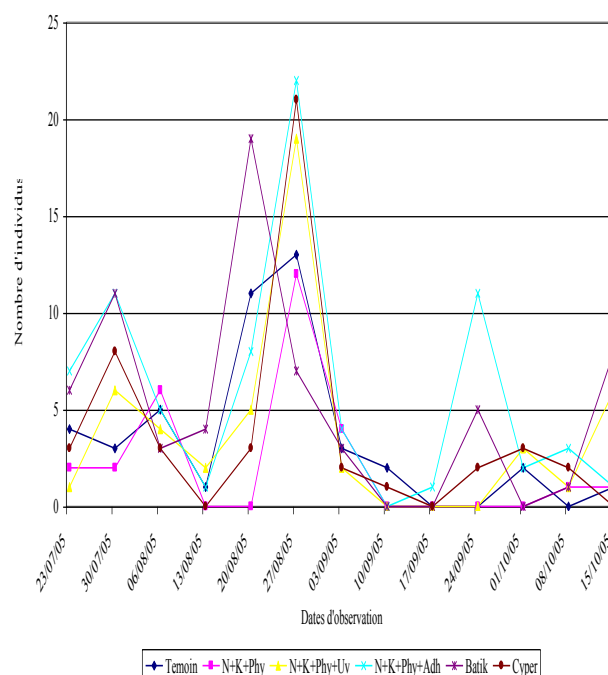


Figure 12: Courbes de l'évolution de la population des Braconidae.

La population des coccinelles se caractérise par une présence en strict rapport avec l'évolution de son hôte. Ce phénomène est observable en suivant la dynamique de la population des *Aphis* et des *Bemisia* auxquels ils sont le plus souvent inféodés. Ainsi, la forte pullulation des Coccinelles constatée à la date

du 27 août a eu comme corollaire une baisse totale des *Aphis* une semaine plus tard.

Au cours de la première série de traitements, on constate une diminution de la population des Coccinelles dans toutes les parcelles même si le *Physalis* et le Batik et surtout l'adhésif ont tendance à les tolérer. Quant à la deuxième série de traitements, l'insecte semblait disparaître dans les parcelles sauf dans l'adhésif qui affichait une population acceptable.

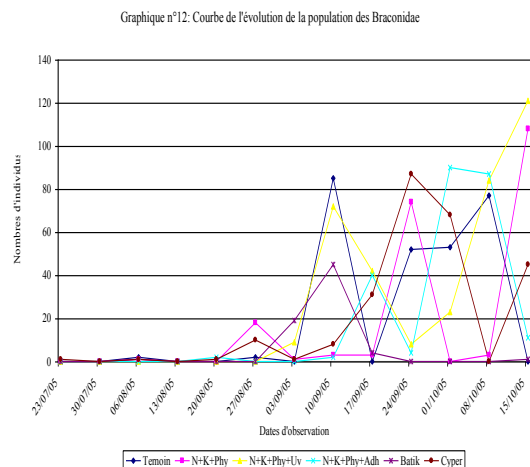


Figure 13: Courbes de l'évolution de la population des Syrphidae.

Il ressort de l'ensemble des traitements effectués, une tolérance des produits bio par rapport à la cyperméthrine, surtout du bon record affiché par l'adhésif qui a abrité une population non négligeable de Coccinelles.

Ainsi l'adhésif et le *Physalis* peuvent être éligibles comme molécules éco-compatibles par rapport à la cyperméthrine.

Braconidae

La population des Braconidae a connu trois pics dans son évolution au cours de nos différentes observations; ces pics s'apparentent effectivement à l'évolution de *Sylepta* son hôte. Au cours de nos différents traitements effectués le 28 juillet, on constate une diminution généralisée de la population sur toutes les parcelles. Avec les deux derniers traitements les 11 et 25 septembre, la population a chuté sur la cyperméthrine et le Batik malgré le nombre élevé d'individus observés la veille des traitements, par contre cette population tendait à grimper sur l'adhésif et le *Physalis* tandis qu'elle se stabilisait sur l'urine de vache..

Il ressort de ces différents traitements une tolérance accrue des Braconidae face aux produits bio d'une manière générale.

Ces résultats confirment ceux de KONE et COULIBALY, 2004 qui ont mis l'accent sur la tolérance de *Physalis* et l'urine de vache par ces auxiliaires.

Syrphidae

La fréquence de la population des Syrphidae se traduit par trois pics presque de même amplitude obtenue avec les différents produits à l'issue des différentes observations de la campagne. Ainsi, suite aux deux premiers traitements, on remarque une tolérance affichée par l'insecte sur toutes les parcelles qui ont même allure en ce qui concerne l'augmentation de la population. Quant aux deux derniers traitements, la population a complètement disparu sur les parcelles à cyperméthrine qui n'affichaient aucun Syrphe en fin de campagne. Sur les parcelles bio, la population a grimpé dans le *Physalis* et dans une moindre mesure dans l'urine de vache et l'adhésif. Ainsi cet insecte utile affiche une tolérance manifeste vis à vis de nos produits bio testés.

L'innocuité de ces formulations biologiques sur les ennemis naturels et particulièrement sur les insectes entomophages prédateurs tels que les Coccinellidae et les Syrphidae et sur les parasitoïdes tels les Braconidae, les Chalcididae et les Ichneumonidae a été amplement traitée au niveau du laboratoire de Biologie des Arthropodes et de Lutte Intégrée de l'IPR /IFRA à travers les études des auteurs précédemment cités.

Les résultats de nos observations entomologiques et agronomiques nous permettent de classer les produits dans l'ordre suivant: la cyperméthrine qui chevauchait le *Physalis* en tête, suivis de l'urine de vache, du batik et enfin de l'adhésif qui est à sa première année d'expérience.

Il ressort de l'ensemble des observations effectuées cette année, une confirmation des études déjà effectuées qui classent la combinaison (Neem+Koby+Physalis) en première place des produits bio, combinaison qui peut être à coup sûr une formulation compétitive à la cyperméthrine donc, à cet effet, transférable en milieu paysan.

Quant à l'adhésif, vu le degré de tolérance affiché face aux ennemis naturels et surtout qui confirment les résultats des études de SANGARE et COULIBALY (2004), son étude mérite une attention particulière en vue de dégager des conclusions tangibles.

Par rapport à la formulation de l'urine de vache, malgré des résultats satisfaisants obtenus cette année, le degré de tolérance des ennemis naturels n'est pas encore connu dans nos conditions. Par contre, RANKIN, 1986 et de PERIES, 1986 cités par STOLL, 2002, en utilisant des pulvérisations d'urine de vache non diluée ont enregistré des mortalités de 95% pour les pucerons, 67% pour les larves de lépidoptère et 83% pour les acariens. Selon RANKIN, l'urine non diluée peut avoir un léger effet de phytotoxicité, propriété à notre avis qui le rapproche de près à la cyperméthrine.

VI. CONCLUSIONS ET SUGGESTIONS :

Cette étude qui s'est déroulée pour sa quatrième année d'expérimentation, a donné des résultats très satisfaisants. Ainsi, nos différents produits biologiques à savoir: le *Physalis*, l'urine de vache, l'adhésif et le *Bacillus thuringiensis* ont relevé des effets insecticides et/ou insectifuges sur les ravageurs du cotonnier qui ont fait l'objet d'étude au cours de cette campagne. Il est aussi à noter qu'en dehors de leur effet insecticide, nos produits ont été très tolérants sur la faune utile à savoir les entomophages.

Ces produits ont surtout été efficaces sur *Bemisia*, *Aphis*, *Dysdercus* et *Sylepta* qui ont vu leur population ramenée à des niveaux acceptables. Quant à la Cyperméthrine, son efficacité a été confirmée sur *Empoasca*, *Anomis*, *Dysdercus* et *Sylepta* mais provoque une explosion de la population de *Bemisia* en fin de campagne. S'agissant des larves qui ont enregistré des populations très faibles, des études au labo ont montré une efficacité des combinaisons biologiques allant de 75 à 95% de mortalité. Ainsi, le *Physalis* arrive en tête des produits biologiques suivi de l'urine de vache et enfin de l'adhésif et du *Bacillus thuringiensis* qui terminent en dernière position. Eu égard aux résultats satisfaisants obtenus, il est donc temps de faire recours aux produits bio qui, outre leur respect de l'environnement, sont "une source de lutte naturelle inépuisable, gratuitement renouvelable, auto-reglable et surtout à faible coût."

REFERENCES

- [1] Balachowsky a. S., 1950: La lutte contre les insectes. Principes, Méthodes Application, 279 p.
- [2] Bernays E..A. and Chapman R.F, 1994: Host-plants selection by phytophagous insects, 312p.
- [3] Bore A et Coulibaly A.K., 2002: *Etude comparative des modes de protections Conventionnelle et Biologique dans les conditions agro-pédo-climatiques de Katibougou*. Mémoire de Fin de Cycle, 72 p.
- [4] Bretaudeau A., 2000 : Cours de Phytotechnie Spéciale, 73 p.
- [5] Cabanilla L. S., abdoulaye et Sanders J. H., 2003: Coût économique de la non adoption du coton B.t en Afrique de l'Ouest: Avec référence au cas du Mali. Département de l'économie agricole, Université de Purdue, USA 33p
- [6] Camara S. et Coulibaly A.K., 2003: *Etude comparative des modes de protections conventionnelle et biologique du cotonnier dans les conditions pédo-climatiques de Katibougou*. Mémoire de Fin de Cycle, IPR /IFRA, 65 p.
- [7] Cluzeau S., 1992: Index phytosanitaire (A.C.T.A), 519 p.
- [8] Coulibaly A. K., 1992: Miglioramenti nelle tecniche di allevamento massale dei parassitodicon particolare riguardo ai Ditteri Tachinidi su *Galleria mellonella* L., Thèse de Doctorat, Bibliothèque Natio. Di Roma e di Firenze, Italie, 336 p.
- [9] Dao M., 2000: *Etude de la Lutte Etagée Ciblée (LEC) sur le développement et l'extension de la résistance de Helicoverpa Armigera (HUBNER, 1808) aux pyrèthrenoïdes dans la zone cotonnière du Mali*. Mémoire de Fin de Cycle, IPR /IFRA, 77 p.
- [10] DNSI, 2000: *Renseignement général de la population et de l'habitat*. Rapport: 59p.
- [11] FAO, 2004: Coton Examen du marché. Produits et commerce international. Département économique et social 26 p.
- [12] FAO, 1998: Sécurité alimentaire et filière agricoles en Afrique de l'Ouest.
- [13] Guillet P., 1972: *Effet d'un traitement à base de Bacillus thuringiensis sur les populations de chenilles défoliatrices en verger de pommiers*. Mémoire de 3^{ème} année, Ecole Nationale d'ingénieurs des travaux Agricoles. Quetigny. 52 p.
- [14] Kone A. et Coulibaly A.K., 2004: *Etude comparative des modes de protections biologique et conventionnel du cotonnier dans les conditions pédo-climatiques de Katibougou*. Mémoire de Fin de Cycle, IPR /IFRA, 68 p.
- [15] Kumar R., 1991: La lutte contre les insectes ravageurs, 310p.
- [16] Kulcinski F, 2000: Les ravageurs de la culture cotonnière (avec une attention particulière à *Aphis gossypii* et ses ennemis naturels). Projet DPV/ GTZ.Madagascar nisama. p.196
- [17] Mellini E., 1960: Orientamenti e progressi negli studi sul parassitoidismo degli insetti entomofagi; Est.Att.Acc.Naz.Ita.Ent.Ren.ann. VII
- [18] Moser F et Coulibaly A.K., 2002: Effet de quelques bio pesticides et des plantes pièges sur les ravageurs du coton biologique et leurs ennemis naturels au Mali. Schweizerische
- [19] Myers D., 1999: In Organic cotton. pp 8-20
- [20] Otto D. et Weber B., 1992 : Insecticides : Mechanism of action and resistance. Intercept Ltd, England 498p.
- [21] Pesticides & Alternatives No 13 de mars 2001: Bulletin de Pesticide Action Network (PAN) Arica.

- [22] Rapport Narratif, 2002: Pesticides Action Net Work (Plan) Africa. 44 p.
- [23] Sagara K. et Coulibaly A.K., 1999: *Etude comparative de l'activité des insectes entomophages à celle du pesticide cyperméthrine sur la population des arthropodes ravageurs du cotonnier dans les conditions agro-pedo-climatiques de Katibougou*. Mémoire de Fin de Cycle, IPR/IFRA, 32 p.
- [24] Sahel PV INFO, 1990 : Bulletin d'information en protection des végétaux N° 20 de l'UCTR/PV : Le Neem, Revue sur ses propriétés pesticides. 24p.
- [25] Sangare, A. et Coulibaly, A.K., 2001: *Effet de quatre biopesticides sur la population des insectes ravageurs du cotonnier et de leurs ennemis naturels dans conditions agoclimatiques de Katibougou*. Mémoire de fin de cycle. IPR/IFRA de Katibougou 42p.
- [26] Sidibe D et Coulibaly A.K., 2000: *Etude comparative de l'activité des insectes entomophage à celle du pesticide cyperméthrine monocrotophoss sur la population des Arthropodes ravageurs du cotonnier dans les conditions agro-pedo-climatiques de Katibougou*. Mémoire de Fin de Cycle, IPR/IFRA, 89 p.
- [27] Silguy C, 1994: L'agriculture biologique, des techniques efficaces et non polluantes. Terre vivante, 187p.
- [28] Stoll G., 2002: Protection naturelle des végétaux en zone tropicale. Verlag Josef Margaraf, Weikersheim, 386 p.
- [29] Terry, PJ, 1993: Some commus crops weeds of West Africaand their control USAID. 16p.
- [30] Thomas M., Waage J., 1996: Integration of biological control and plant resistance breeding: a scientific and literature review. CTA pp: 1-87
- [31] Valenghi D et Guenat D, 2001: Coton biologique au Mali, 44p.
- [32] Villiers A., 1979: Initiation à l'entomologie, Tome I, 324p.
- [33] Vincent C. et Coderre D., 1992: Lutte biologique (Station de recherche Canada: Québec). p.671
- [34] WRI, 1998: Environmental implication of population dynamics. 120p.
- [35] www.biorespect.com
- [36] ▪ Zongo J., 1990: Le Neem, *Azadiratcha indica* A juss. Revue sur ses propriétés pesticides (PV, INFO, N°20). Bulletin d'information en protection des végétaux de L'UCTR/ PV. 12-22pp.

Impacts de la pratique des techniques conventionnelles et biologiques sur l'arthropodofaune utile du cotonnier dans les conditions agro-écologiques en zone soudano-sahélienne : cas de l'IPR/IFRA de Katibougou au Mali

Souleymane TRAORE¹, Laya KANSAYE¹, Aly SANGARE¹, Amadou Konotié COULIBALY^{3*}

Laboratoire de Biologie des Arthropodes et de Lutte Intégrée IPR/IFRA de Katibougou

²Responsable du Laboratoire de Biologie des Arthropodes et de Lutte Intégrée IPR/IFRA de Katibougou

*Adresse de correspondance : akonotie@yahoo.fr

RESUME : L'étude de l'impact des pratiques conventionnelles et biologiques sur l'arthropodofaune utile du cotonnier a été menée sur la parcelle dite conventionnelle des grandes cultures de l'IPR/IFRA de Katibougou et qui est affectée au Laboratoire de Biologie des Arthropodes et de Lutte intégrée. Elle vise à évaluer l'écotoxicité envers les arthropodes des formulations biologiques établies par cette structure. L'essai a été installé sur un bloc de Fisher avec trois répétitions. Chaque bloc contenait 6 parcelles élémentaires correspondant respectivement chacune à un traitement. Cinq biopesticides y compris le biobit sont comparés à la cyperméthrine. Un inventaire systématique a été effectué dans des carrés d'observation délimités dans les parcelles élémentaires. Ainsi il ressort de ces observations une activité satisfaisante des formulations à base d'extraits naturels de plantes sur les ravageurs du cotonnier. Toutes ont abaissé la population des ennemis des cultures à des niveaux assez proche de celui de la cyperméthrine qui a une toxicité élevée sur les arthropodes. Dans ce cas les combinaisons telles que (N+K+Calo+Char+Adh Biobit et N+K+Char+Adh) ont été respectivement plus tolérées par les coccinelles et les araignées par rapport à la cyperméthrine. Par contre sur les diptères syrphidés N+K+Char+Adh et le N+K+Calo+Char+Adh ont été légèrement nocifs. La cyperméthrine a dominé en effectif les formulations N+K+Ti+Char+Adh, N+K+Cas+Adh et le Biobit. D'une manière générale les auxiliaires des cultures ont été peu perturbé par les formulations à base d'extraits des plantes. Les observations ont permis de dresser une liste des auxiliaires qui sont regroupées dans 8 ordres, 18 familles, 33 genres et 36 espèces. Au niveau des octapodes une dizaine d'espèces furent recensées et environs 6 espèces parmi les myriapodes. Les rendements ont été pour la cyperméthrine (3,355T/ha), pour N+K+Cas+Adh (2,323T/ha), le Biobit (2,242 T/ha) pour N+K+Ti+Char+Adh (1,869 T/ha).

Mots clés : Coton, insectes, biopesticide, cyperméthrine

I. INTRODUCTION

Le coton est la principale culture de fibre dans le monde ou environ 25 millions de tonne de coton fibre sont produits annuellement. Les plus grands producteurs sont la Chine, l'E U, l'Inde suivis du Pakistan, l'Ouzbékistan et le Brésil (Waliou et Coulibaly, 2005). La FAO estime que près de 100 millions de population rurale dépendent directement de la production du coton dont plus de 6 millions de foyers ruraux africains. La cotonculture, particulièrement la production conventionnelle est consommatrice d'une grande quantité de pesticides et fertilisants chimiques.

Ces pesticides utilisés dans la production du coton sont souvent très toxiques et nuisibles pour l'homme, le cheptel et l'environnement en général (Houndékon et al., 2006). Malgré, ces pratiques de protection chimiques contre les ennemis des cultures, les dégâts des insectes restent préoccupants à tout égard et des solutions idoines doivent être apportées. Faut-il alors trouver d'autres moyens de protection sans polluer l'environnement, en respectant mieux les ressources de la biosphère tout en répondant aux lois des marchés aux besoins et aspirations de la société ? (Mohamed, 2012).

Ainsi les méthodes de production et de lutte contre les

ravageurs ont évolué selon le rythme de l'amélioration et de la domestication des plantes. Les travaux de recherche en cours privilégient la voie agro écologique qui vise à insérer plus harmonieusement la culture cotonnière dans des paysages agricoles à biodiversité entretenue, afin de favoriser les régulations écologiques et réduire l'usage des intrants conventionnels (Deguine et al., 2008). Dans cette logique une attention particulière a été accordée à la coton culture pour servir non seulement un besoin de base, mais aussi pour des raisons économiques.

En se basant sur le principe que chaque espèce animale possède un grand nombre d'antagonistes qui lui sont associés de façon caractéristique et il existe de nombreuses espèces végétales qui agissent de façon négative sur la biologie d'un grand nombre d'arthropodes appartenant à des positions systématiques différentes (Sangaré et Coulibaly, 2001). Ces espèces botaniques agissent sur les arthropodes soit par les phénomènes de l'antibiose soit par l'antixénose en fonction desquelles les hexapodes font la sélection de leur « pabulum » (Bernays et Chapman, 1994 ; Stoll, 2000 ; Schoonhoven et al., 2005) ;

C'est ainsi des études d'impact des extraits des essences agro-forestières adoptés comme insecticides naturels (biopesticides ou biocides) dans les agro-écosystèmes du cotonnier ont commencé. Les études expérimentales sur la dynamiques des populations des ravageurs du

cotonnier dans les conditions conventionnelles et biologiques des auteurs comme (Sagara et Coulibaly, 1999), (Sidibé et Coulibaly, 2000) ; (Boré et Coulibaly, 2002) ont montré une raréfaction généralisée de la biodiversité sur les parcelles conventionnelles par rapport à celles biologiques et de manière hautement remarquable la réduction impressionnante des espèces d'entomophages.

Actuellement, les politiques agricoles soutiennent de plus en plus des méthodes de cultures orientées vers l'écologie préservant plus la biodiversité et les ressources naturelles ; l'intensification de l'utilisation du sol prévalant depuis des décennies a fondamentalement modifié le rôle de l'agriculture dans la préservation de la biodiversité (PFIFFINER et BALMER, 2011).

Signalons que le coton biologique est une culture relativement nouvelle au Mali. Il a été cultivé pour la 1^{ère} fois en 1999 grâce à un programme agricole d'une ONG suisse (Helvetas-Mali). La pratique ne se limite pas à exclure les intrants chimiques de synthèse et les semences génétiquement modifiées aux profits d'intrants biologiques ou préparés à la ferme, mais elle s'inscrit aussi pleinement dans la voie agro écologique et vise la durabilité de l'écosystème agricole.

L'adoption de l'agriculture biologique du coton dans les pays en voie de développement est présentée par les promoteurs de la culture biologique comme une option de sortie de crise (Ferrigno et al. 2008). En 2000 cette ONG suisse pour la coopération internationale a approché le Laboratoire de Biologie des Arthropodes et de Lutte Intégrée qui, depuis son existence jusqu'à nos jours, œuvre inlassablement avec comme objectif essentiel d'apporter une contribution aussi modeste soit-elle à l'étude et l'utilisation des ennemis naturels tout comme des extraits des végétaux dans la lutte contre les ravageurs.

Certes nous avons fait de nombreuses études comparatives entre nos formulations et celles commerciales surtout à travers des études de la dynamique des populations surtout de la faune des auxiliaires de lutte et nous avons pu apprécier le caractère quasi inoffensif de nos produits limitativement sur ce groupe systématique des hexapodes. Ainsi dans cette étude nous voulons étendre nos champs d'observation à des aspects plus complexe de l'agro écosystème que nous gérons depuis plus d'une quinzaine d'années. Ainsi la présente étude dont l'intitulé est : « Impact de la pratique des techniques conventionnelles et biologiques sur l'arthropodofaune utile du cotonnier dans les contions agro-écologiques en zone soudano- Sahélienne : cas de l'IPR/IFRA de Katibougou au Mali. » s'inscrit dans cette optique.

Objectif global

Contribuer à la protection du cotonnier biologique contre les ravageurs arthropodiens.

Objectifs spécifiques :

- Déterminer l'activité des biopesticides et de la cyperméthrine sur les auxiliaires du cotonnier

- Déterminer l'impact des biopesticides et de la cyperméthrine sur le rendement

II. MATERIEL ET METHODES

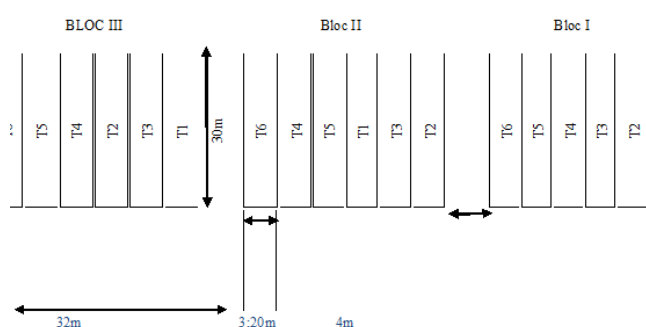
Un labour léger de la parcelle d'implantation de l'essai a été effectué avec un tracteur le 21 juin 2015. La méthode " 3-4-5 " nous a permis de délimiter le site de l'essai composé de blocs et des parcelles élémentaires.

Le dispositif expérimental utilisé est le bloc de Fisher à trois répétitions ; chaque bloc-contient six parcelles élémentaires correspondantes chacune à une formulation dont une représentante respectivement le biobit et la cyperméthrine qui est le témoin. Ainsi dans les blocs la répartition des formulations est faite suivant un tirage au sort sans remise. Les parcelles sont longues de 30 m et larges de 3,20 m séparées par 2 m. La superficie totale d'une parcelle élémentaire est donc de 96 m² ; celle d'un bloc est 876 m². Les blocs sont distants de 4 m. Chaque parcelle élémentaire comporte 4 lignes de semis. Le coton est semé aux écartements de 0,80 x 0,30 m démarré à deux plants par poquet ce qui donne 400 poquets par parcelle élémentaire soit 800 plants par parcelle. Ainsi nous avons une densité théorique de 83333,33 plants par hectare. Le semis a eu lieu le 24 juin 2015. La levée a été constatée 5 jours après le semis. L'épandage de la fumure organique dans les parcelles biologiques a été réalisé le 13 juin 2015 à la dose de 4t/ha. Les parcelles conventionnelles ont été fertilisées aux engrais minéraux et traitées à la Cyperméthrine. La fumure utilisée est celle actuellement vulgarisée dans les zones cotonnière de l'OHVN aux doses de 150kg/ha de complexe coton et 100 kg d'urée. Elles ont été appliquées en mélange le 19 juillet 2015 comme engrais de fond. Les parcelles ont bénéficié de trois sarclages dont le premier le 10 juillet 2015 le deuxième le 30 juillet 2015 et le troisièmes le 09 aout.

Préparation des produits et traitements phytosanitaires: La protection de la culture a été faite en appliquant quatre différentes formulations biologiques qui ont été préparées en suivant la technique de saupoudrage ou de broyage des ingrédients. Ces ingrédients sont additionnés selon le type de formulation à réaliser et sont macérés pendant trois jours à quelques heures en fonction de la nature des ingrédients respectifs. Au bout de ce temps ils sont filtrés plusieurs fois avec un tamis de 0,01mm avant d'additionner les huiles dont les adhésifs. Ainsi les différentes formulations, ont été réalisées avec les ingrédients suivants : feuille de *Calotropis procera*, le bulbe de « *Tilia* », le charbon de bois, l'huile de *Carapa procera* (Koby), l'appareil végétatif entier de *Leptadenia hastata* et la poudre d'amande des graines d'*Azadirachta indica* (Neem). Au terme de la préparation le produit est conservé dans des bidons en attendant l'utilisation à l'aide d'un appareil pulvérisateur ULV dans les conditions favorables. Les traitements phytosanitaires contre les ravageurs se faisaient chaque 15 jour dès l'apparition des boutons floraux. Les traitements phytosanitaires constitués par les formulations (Tableau) sont intervenus aux dates suivantes :

Tableau 1: Formulations de biopesticides et périodes d'application

Traitements	Sigle des biopesticides	Dates de traitement
T1	Biobit	1 ^{er} traitement 13/08 2015
T2	N+K+Ti+Char+Adh	2 ^{ème} traitement 27/08 2015
T3	Cyperméthrine	3 ^{ème} traitement 10/09 2015
T4	N+K+Cas+Adh	4 ^{ème} traitement 24/09 2015
T5	N+k+Calo+Char+T5Adh	
T6	N+K+Char+Adh	

**Figure 16 : Dispositif expérimental****Observations agronomiques**

Ces observations se déroulaient dans les carrés d'observations placés à l'intérieur des parcelles élémentaires et ont concerné les paramètres suivants (voir tableau 2).

Tableau 3 : Paramètres agronomiques observés

Nombre moyen plant / parcelles élémentaires	Poids moyen Capsules
branche végétative	coton graine par capsule
branche fructifère	rendements
capsule par plant	

capsule saine

capsule attaquée

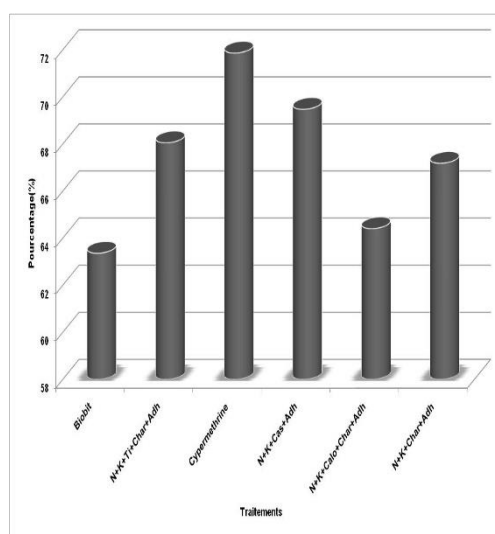
Observations des arthropodes

Trois carrés d'observation (parcelle utile) ont été placés dans chaque parcelle élémentaire.

C'est à l'intérieur de ces carrés que se déroulaient les observations tant agronomiques qu'entomologiques, effectuées une fois par semaine. Elles ont porté sur les deux lignes centrales du carré ; les plants sont observés du collet au sommet en passant par tous les organes aériens. Elles consistaient à recenser les arthropodes utiles (insectes, araignées...) à tous les stades de développement et à effectuer des échantillonnages. Ces échantillons sont plus tard identifiés au laboratoire à l'aide des différents clés de détermination des espèces dont dispose le laboratoire.

III. RESULTATS ET INTERPRETATIONS**Observations agronomiques**

Taux de levée

**Figure 17 : Nombre de poquets levés selon les traitements**

La levée a été constatée 5 jours après le semis. Le comptage des poquets levés et manquants par parcelle élémentaire a donné une moyenne de 63% dans l'ensemble. Ce qui a nécessité un résemis une semaine plus tard. Comme indiqué dans la (fig.1) la meilleure levée a été constatée au niveau des parcelles élémentaires contenant le traitement cyperméthrine suivi des traitements N+K+Cas+Adh, N+K+Ti+Char+Adh, N+K+Char+Adh, N+K+Calo+Char+Adh et enfin biobit. Donc ce taux à une valeur comprise entre 63 et 71%. (voir annexe 7.).

Nombre moyen des branches végétatives

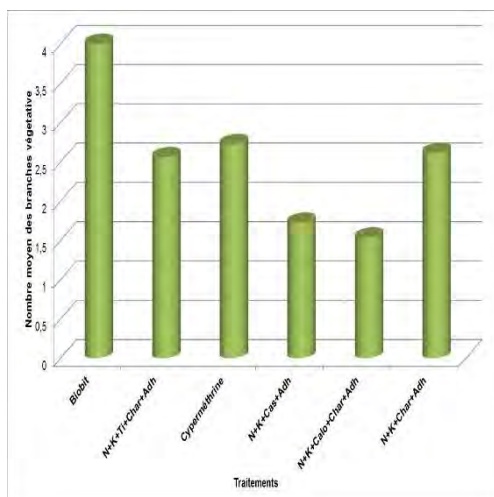


Figure 2 : Nombre moyen de branches végétatives des cotonniers

Nous avons constaté que parmi les différents traitements, c'est la parcelle de Biotit qui a produit le plus de branches végétatives par rapport aux autres (3,8 branches par plant en moyenne). La parcelle de N+K+Calo+Char+Adh a donné le nombre des rameaux le plus faible (1,4 branches végétatives en moyenne par plant). Les parcelles des formulations Cyperméthrine, N+K+Char+Adh et N+K+Ti+Char+Adh ont produit les mêmes nombre de branches végétatives (fig.2). Il n'y a donc pas eu de différences entre la fumure minérale et le compost.

Nombre moyen des branches fructifères

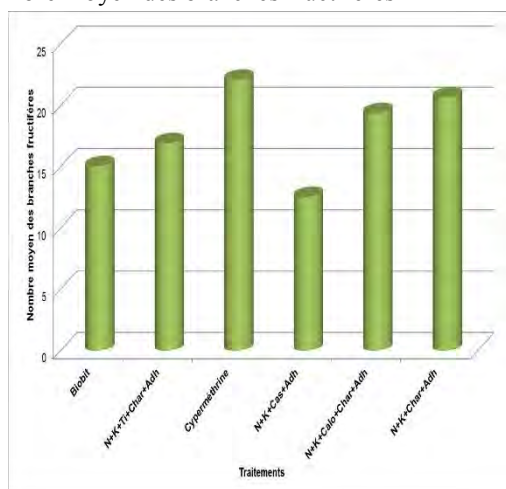


Figure 3: Nombre moyen de branches fructifères des cotonniers

Les observations sur les branches fructifères formées au niveau des différents traitements de coton nous a permis de constater que la cyperméthrine a plus de branches fructifères (21 branches par plant), suivie respectivement par la formulation N+K+Char+Adh (20 branches) et N+K+Calo+Char+Adh (18 branches). La formulation N+K+Cas+Adh a formé moins de branches fructifères (12 branches par plant) (fig.3).

Nombre moyen de capsules par plant

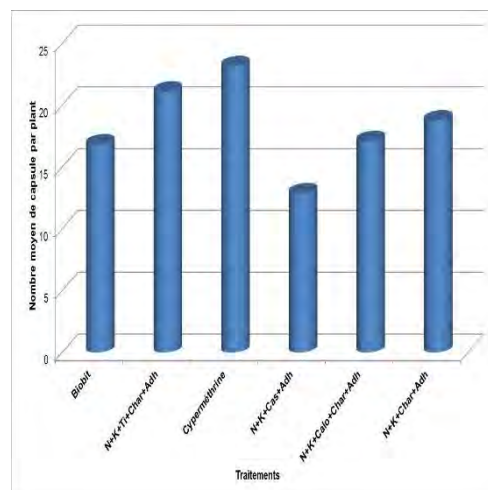


Figure 4: Nombre moyen de capsules par plant de cotonnier

Dans ce cas le graphique nous montre qu'en ce qui concerne la formation des capsules par les plants du cotonnier, ce sont les plants traités avec la cyperméthrine qui ont formé le plus grand nombre de capsules (24 capsules par plant). Ensuite viennent respectivement ceux traités avec N+K+Ti+Char+Adh (20 capsules par plant) et N+K+Char+Adh (17 capsules par plant). On retient que la formulation N+K+Cas+Adh a produit le plus faible nombre de capsules par plant (14) par rapport autres traitements (fig.4). Par rapport à ce paramètre la fumure minérale remporte sur le compost.

Nombre moyen de capsules saines par plant

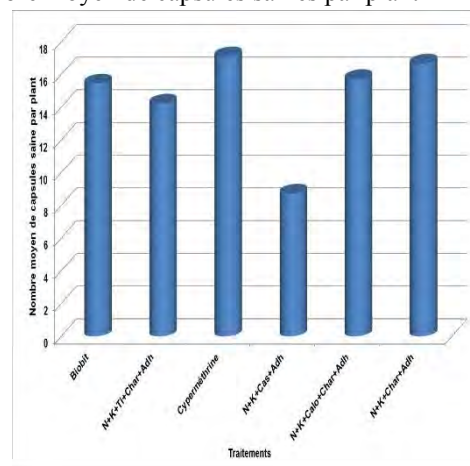


Figure 5 : Nombre moyen de capsules saines par plant de cotonnier

Nous avons constaté que parmi les différents traitements, concernant les capsules saines c'est la cyperméthrine qui a occupé la première place (16,5 capsules saines par plant), il est suivi de près par N+K+Char+Adh (16 capsules saines par plant) et biotit (15 capsules saines par plant). En effet c'est la formulation N+K+Cas+Adh qui garde toujours la dernière position avec le plus faible nombre de capsules saines (8 capsules saines par plant) (fig.5).

Nous pourrions affirmer vu qu'il n'y a pas de différence entre les différents traitements que les formulations ont eu des activités similaires sur les ravageurs exception

faite de N+K+Cas+Adh qui présente un écart significatif.

Nombre moyen des capsules attaquées

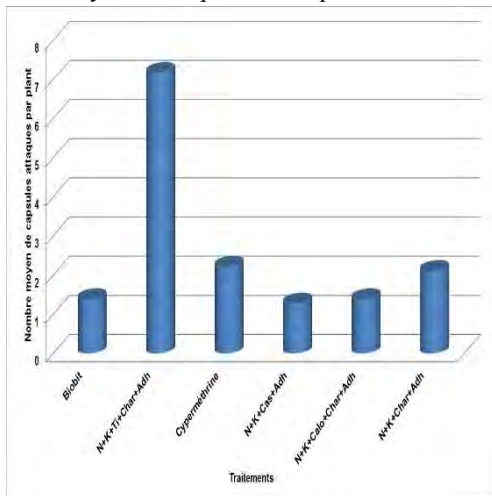


Figure 6 : Nombre moyen de capsules attaquées par plant de cotonnier

En suivant les histogrammes des différents traitements c'est le N+K+Ti+Char+Adh qui a eu largement plus de capsules attaquées (7 capsules par plant). Les autres traitements biobit, N+K+Cas+Adh et N+K+Calo+Char+Adh ont été moins attaqués (environ 1 capsule attaquée en moyenne sur un plant). Les formulations de la cyperméthrine et du N+K+Char+Adh ont présentant une moyenne de 2 capsules attaquées par plant (fig.6).

Dans ce cas nous pourrions également affirmer que les extraits bruts des plantes ont eu une activité identique à celle du produits chimique de synthèse sur les ennemis du cotonnier exception faite de N+K+Ti+Char+adh qui concorderait avec un artifice dans le système.

Observation des arthropodes utiles

Dynamique de la population des insectes entomophages

• Dynamique des Coccinellidae

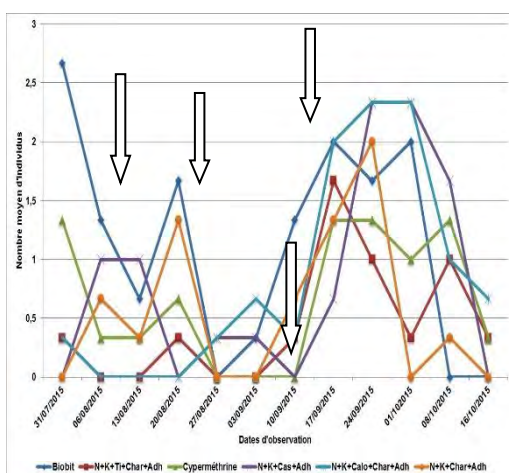


Figure 7 : Dynamique de la population des Coccinellidae sur le cotonnier en fonction de six formulations

Les courbes de dynamique de la population des

coccinelles révélait la présence de ces prédateurs déjà au début des observations entomologiques dans des proportions plus ou moins importantes selon les traitements avec en tête le biobit (environ 3 individus par parcelles) tandis que les traitements N+K+Calo+Char+Adh, N+K+Cas+Adh en étaient démunis (fig.7). A la suite nous avons assisté à une augmentation de la population sur les différents traitements en dents de scie jusqu'en début octobre qui enregistre la chute générale de la population sur tous les traitements vers mi-octobre. Pendant cette évolution du carnivore au cours du cycle végétatif du cotonnier on a constaté une inflexion de la population voir son effondrement entre fin 20 août et début septembre 2015. Ainsi dans la dynamique de la population nous enregistré la formation deux amplitudes dont la plus élevée se situe entre mi et fin septembre 2015. Dans la première phase les différents traitements Biobit, N+K+Calo+char+ Adh, N+ K+Cas+Adh, ont respectivement présenté une population plus importante que sur la Cyperméthrine tandis que N+K+Calo+Char+Adh, N+K+Ti+Cha+Adh enregistrait un peuplement plus faible que sur la cyperméthrine. En revanche dans la deuxième phase les formulations de biopesticide N+K+Calo+Char+Adh, N+K+Cas+Adh, Biobit, N+K+Char+Adh, N+K+Til+Char+Adh ont respectivement tous présenté les effectifs les élevés par rapport à la cyperméthrine dont la population est absolument la plus faible (fig.7).

• Dynamique de Syrphidae

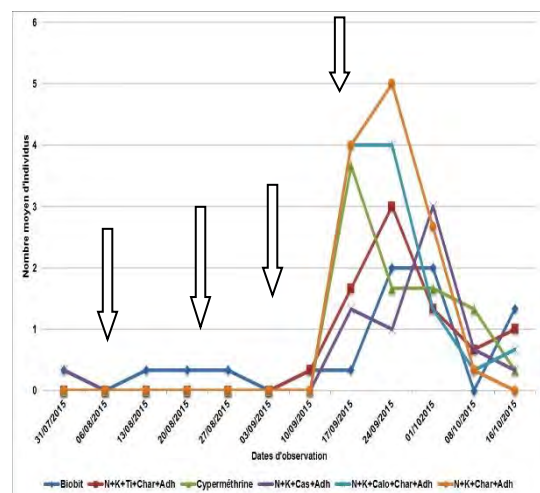


Figure 8 : Courbes de la population des Syrphidae sur le cotonnier en fonction de six formulations

Les diptères prédateurs à l'opposé des coccinelles ont une seule amplitude avec toutes les formulations y compris la cyperméthrine et qui se situe dans un grand intervalle entre mi-septembre et début octobre suivant les traitements. Pendant cette période les formulations N+K+Char+Adh et le N+K+Calo+Char+Adh ont eu des effectifs plus importants par rapport à la cyperméthrine qui à son tour a porté un effectif supérieur à ceux respectivement de N+K+Til+Char+Adh, N+K+Cas+Adh et le Biobit. Dans la phase précédente seule le biobit présentait des individus sporadiques. En fin à la dernière observation la population a haussé sur

certaines formulations tandis que chez d'autres elle disparaissait (fig.8).

Parmi les formulations ce sont les biopesticides qui en général ont eu moins d'effet sur l'auxiliaire, entre temps ce sont le biobit et la cyperméthrine qui se sont montrés néfastes sur nos amis les syrphidae.

Dynamique des araignées

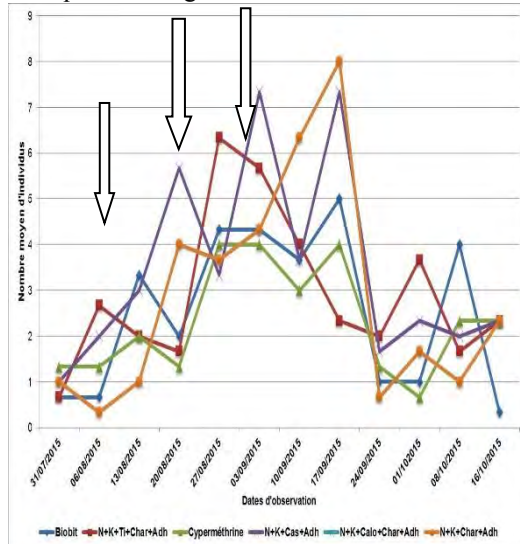


Figure 9 : **Dynamique de la population des Araignées sur le cotonnier en fonction de six formulations**

Le graphique représentatif de la dynamique des araignées a été construit en cumulant les effectifs des différentes espèces rencontrées compte tenu des difficultés que nous rencontrons dans la systématique de ces octapodes locuteurs inconditionnels de nos parcelles. En effet cette sous-classe Araignées contient environ 101 familles et plus de 40.000 espèces.

En effet la population de cet arthropode était faible au départ sur l'ensemble des traitements. Puis elle augmenta progressivement avec une évolution en dents de scie tout en affichant des amplitudes à différentes périodes suivant les traitements. La majorité de ces amplitudes ont été affichées entre fin août et mi-septembre et il s'en suit une chute généralisée des effectifs sur tous les traitements (fig 9) et qui tentaient à se relever sur certaines formulations vers la fin des observations. Les représentants de ces octapodes sont apparus sur les parcelles avec des densités de peuplement faible et oscillant indépendamment de l'application des insecticides. Dans ce cas les formulations les plus tolérantes sur les araignées ont été respectivement le N+K+Cha+Adh, N+K+Cas+Adh et N+K+Ti+Char+Adh et N+K+Calo+Char+Adh les plus nocives furent la cyperméthrine et le biobit (fig.9).

Dynamique de la population des proies des entomophages

La population des différents groupes d'insectes phytophages en général a été faible au cours de la campagne. Seules les courbes des insectes proies des entomophages de notre mire sont présentées ci-dessous.

• **Dynamique de *Bemisia tabaci* sur les cotons.**

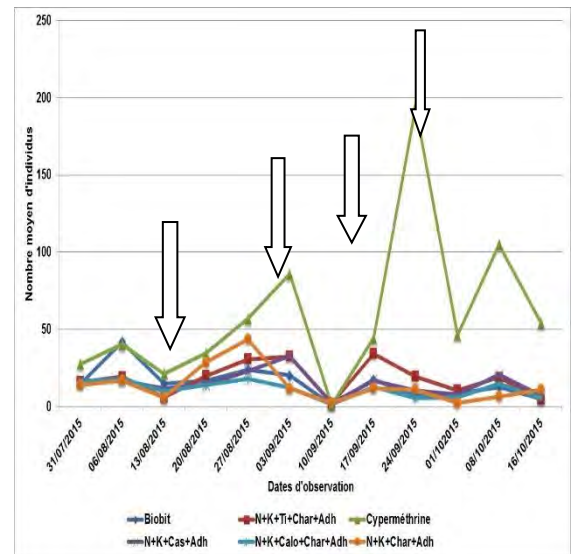


Figure 10: **Dynamique de la population de *Bemisia tabaci* sur le cotonnier en fonction de six formulations**

Les courbes représentatives de la dynamique de la population des mouches blanches révèlent qu'au début des excursions entomologiques l'insecte avait un faible niveau de peuplement. Cependant la première intervention programmée selon une cadence calendaire a amplifié le fléchissement de la population déjà amorcé. Ensuite la seconde application des molécules biocides intervint au moment où l'amplitude maximale des courbes s'affichait sur les certains biopesticides tandis qu'elle s'affichait une semaine plus tard pour les autres y comprise la cyperméthrine dont la population était nettement supérieure à celle des autres (fig.10). Ainsi il s'en suivit une chute généralisée de la population sur tous les traitements exception faite de la cyperméthrine dont la population croissait malgré l'intervention. La troisième application a été exécutée pendant la période du « croll » de la population c'est dire à la date du 10 septembre. A partir de cette date l'effectif de la population de *B. tabaci* a subi une régression sensible sur tous les biopesticides et cela jusqu'à la fin des observations. En revanche pendant cette période elle explosait sur la cyperméthrine marquée par deux culminées d'amplitude différente obtenus respectivement le 24 septembre et le 10 octobre 2015. (fig.20). Cet intervalle de temps a été marqué par l'application du quatrième traitement surtout dans la phase de la grande densité de peuplement (24 septembre) (fig.10). Ainsi il se dégage que les biopesticides ont eu à peu près la même activité réductrice de la population de *B. tabaci* mais N+K+Calo+Char+Adh et biobit ont eu respectivement la meilleure activité par contre la cyperméthrine a été la plus faible au regard des mouches blanches.

• **Dynamique des *Aphis gossypii***

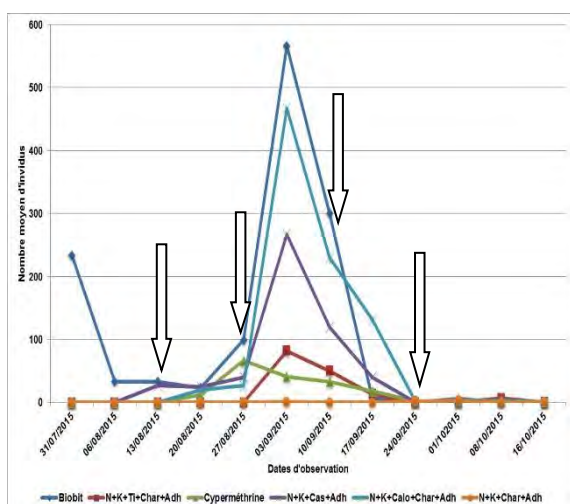


Figure 11 : **Dynamique de la population des *Aphis* sp sur le cotonnier en fonction de six formulations**

Les pucerons sont apparus tardivement au début des observations sur l'ensemble des formulations exception faite de la parcelle avec biobit dont les plants portaient un nombre d'insectes assez important. Ensuite nous avons assisté à une apparition progressive et asynchrone des individus sur les différentes parcelles. Ainsi vers fin août il y a eu explosion brusque de la population avec des écarts de peuplement plus ou moins considérables entre les parcelles exception faite de la parcelle traitée qui éloigne l'insecte pendant toute la durée de la campagne (fig.11). Dans ce cas les amplitudes maximales ont été affichées vers le 03 septembre 2015 suivies de la chute progressive du niveau de peuplement sur les différentes parcelles. On note que les deux premières applications des biopesticides non seulement empêché l'apparition des individus mais aussi leur multiplication sur les traitements exception faite de qui a été dépourvu d'insecte jusqu'à la date de la deuxième application (fig.11). La troisième intervention phytosanitaire a impulsé la chute progressive déjà amorcée de la densité des peuplements d'aphide. Les *Aphis* avaient presque abandonné les parcelles quand on exécutait le dernier traitement phytosanitaire le 24 septembre 2015 (fig.11). La population du ravageur ne s'est plus aventurée dans les parcelles jusqu'à la fin des observations. Ainsi pendant cette période de permanence et d'application des biocides, N+K+Char+Adh et N+K+Ti+Char+Adh ont respectivement eu des activités beaucoup plus nocives sur les aphides que la cyperméthrine qui à son tour a dominé les autres biopesticides qui se suivent respectivement dans l'ordre N+K+Cas+Adh, N+K+Calo+Char+Adh et enfin Biobit en ce qui concerne la nocivité sur le puceron (fig.11). Les pucerons à l'instar des mouches blanches n'ont pas atteint au cours de la campagne des niveaux de peuplement inquiétant

Production

Tableau 4 : Rendements (réel et théorique à l'hectare)

Traitement	Rendement	
	Réel (t /ha)	Théorique (t /ha)
Biobit	2,242	5,687
N+K+Ti+Char+Adh	1,869	5,209
Cyperméthrine	3,355	6,503
N+K+Cas+Adh	2,323	2,985
N+K+Calo+Char+Adh	1,906	5,470
N+K+Char+Adh	2,215	6,315

Il y'a une grande disparité entre les rendements des différents traitements. La Cyperméthrine se classe en tête avec (3,355 t /ha) suivi respectivement de N+K+Cas+Adh (2,323 t /ha) du Biobit (2,242 t/ha), de N+K+Char+Adh (2,215 t/ha), N+K+Calo+Char+Adh (1,906 t /ha) et N+K+Ti+Char+Adh qui vient en dernière position avec . 1,869 t/ha (tableau 3). A ce qui concerne le rendement théorique c'est la cyperméthrine qui vient toujours en première position avec (6,503 t/ha) suivi directement par la formulation N+K+Char+Adh (6,315 t/ha) Biobit (5,687t/ha) N+K+Calo+Char+Adh (5,470t/ha) N+K+Ti+Char+Adh (5,209t/ha) et N+K+Cas+Adh qui garde la dernière position avec (2,985t/ha).

IV. DISCUSSIONS

L'analyse des courbes de dynamique des arthropodes entomophages sur les différentes formulations appliquées dans les parcelles du cotonnier montre une activité drastique de la cyperméthrine sur ces auxiliaires par rapport aux extraits naturels des plantes et l'extrait de *B. thurengiensis*. Pendant ce temps elle favoriserait l'explosion des phytophages en général et les piqueurs suceurs insectes et acariens en particulier (Maini et al. (1984), Pimentel (1984) cité par Coulibaly (1992), Tremblay (1986), Sagara et Coulibaly (1999), Koné et Coulibaly (2004), Schooven et al. (2005), Traoré et Coulibaly (2011), Tahirou et Coulibaly (2013). Ces auteurs affirment que les molécules chimiques de synthèse frappent directement les auxiliaires surtout prédateurs coccinellidés, syrphidés, Carabidés et autres (Burgio, ..). Ainsi les phytophages sont débarrassés des entomophages qui sont démunis de mécanismes de d'autodéfense propre. Ces derniers à la suite d'application répétée entraîne l'apparition des formes de résistance (Pimentel 1984 ; DE Bach, 1974, Tremblay, 1986 Schooven et al., 2005) . En revanche les extraits naturels qui sont des molécules éco-compatibles c'est-à-dire biodégradables sont en outre non nocives sur les insectes pollinisateurs telles que les abeilles et les bourdons qui sont les bio-indicateurs de la santé de l'environnement (Grandi (19), Porni et al.). Ainsi elles exerceraient une forte pression d'insecticide ou insectifuge sur les phytophages sans nuire à l'activité trophique des auxiliaires (Maini et al. (1984), Pimentel (1984) cité par Coulibaly (1992), Tremblay (1986), Sagara et Coulibaly (1999), Koné et Coulibaly (2004), Schooven et al. (2007), Traoré et Coulibaly (2011), Tahirou et Coulibaly (2013).

A travers cette étude les rendements obtenus sur nos parcelles et exprimés à l'hectare varient d'environ 2 T à 3T/ha. Ces résultats conformes à ceux obtenus par les auteurs tels Sagara et Coulibaly (1999), Koné et Coulibaly (2004), Traoré et Coulibaly (2011), Tahirou et Coulibaly (2013) et où la Cyperméthrine rapporte légèrement sur les biopesticides s'expliquerait par certains facteurs dont la position de la 2^{ème} répétition de la Cyperméthrine qui profite plus des arrières effets de l'assolement-rotation.

VII. CONCLUSION ET SUGGESTIONS

L'étude de l'impact des pratiques conventionnelles et biologiques sur l'arthropodofaune utile du cotonnier visait l'évaluation de l'écotoxicité des formulations biologiques établies par le LaBALI envers les arthropodes.

Il ressort de ces observations que toutes les formulations ont baissé la population des ennemis des cultures à des niveaux assez voisin de celui de la cyperméthrine qui a une toxicité élevée sur les arthropodes. Les produits biologiques ont été moins nocifs sur les insectes entomophages par rapport à la cyperméthrine. L'inventaire des différents arthropodes aériens rencontrés au cours de cette étude a permis de dresser la liste d'hexapodes entomophages regroupées dans 8 ordres avec 18 familles avec 33 genres. Les hexapodes phytophages sont repartis entre 7 ordres avec 26 familles dont 51 genres. Au niveau des octapodes une dizaine d'espèces furent recensées et parmi les myriapodes environs 6 espèces furent rencontrées. L'étude nous a permis également de connaître les avantages et les contraintes de l'agriculture conventionnelle en général et ceux de la culture biologique du coton en particulier. Par rapport au rendement la cyperméthrine a été la plus productive (3,355T/ha) suivi par N+K+Cas+Adh (2,323T/ha) et le Biobit (2,242 T/ha) la moins productive a été le N+K+Ti+Char+Adh (1,869 T/ha). Et concernant la production théorique c'est la cyperméthrine qui viens toujours en première position avec (6,503 t/ha) suivi respectivement par la formulation N+K+Char+Adh (6,315 t/ha) Biobit (5,687t/ha) N+K+Calo+Char+Adh (5,470t/ha) N+K+Ti+Char+Adh (5,209t/ha) et N+K+Cas+Adh, qui garde la dernière position avec (2,985t/ha). Les différentes formulations biologiques n'ont pas nui aux activités bio-trophiques des prédateurs. Les araignes se sont comportés de la même manière que les prédateurs hexapodes face à l'application des insecticides. Ainsi nos molécules biologiques semblent respecter la biodiversité en général et de façon spécifique les auxiliaires des cultures c'est-à-dire que leurs effets écotoxiques sont assez minimes.

Nous suggérons la poursuite de cette étude dans le future pour affirmer ou infirmer les résultats ainsi obtenus. Un élément très important de cette suggestion est la divagation des animaux en début de campagne, alors nous recommandons à ce que l'administration de l'IPR / IFRA prennent des mesures contre cette situation.

RÉFÉRENCES

- [1] AMANI Abdou, 2010.
- [2] ADJANOHOOUN E. J. 1980 : Médecine traditionnelle et pharmacopée : Rapport sur le colloque international sur la médecine traditionnelle africaine à Abidjan Côte d'Ivoire. Bull. Méd. Pharm., ACCT, 203p.
- [3] AKE ASSI L. 1991 : Médecine traditionnelle et la pharmacopée en République Centrafricaine. éd. A.C.C.T., Paris 208p.
- [4] AMANI Abdou, 2010 : Contribution à l'état des connaissances de quelques plantes envahissantes au Niger, Ecologue- INRAN, 34p.
- [5] BOIS. J.C et ESTEVB.G, 2006. Lutter contre les insectes nuisibles en agriculture biologique ; intervenir en harmonie face à la complicité, Phytoprotection ; 87 (2), 83-90p.
- [6] BRETAUDEAU A., 2000 : Cour de phytotechnie Spéciale, 73p.
- [7] CEBALLOS L. 2008. : Impacts environnementaux des plantes Bt., OGM info-février, 2p
- [8] CMDT, 2009 : Contribution du coton à la croissance économique au Mali. Rapport provisoire Equipe Technique ODHL/LCP- Mai, 81p.
- [9] COULIBALY Fousseyini 2014 : Isolement et caractérisation de souches de *Bacillus thuringiensis* au Mali dans la lutte contre les insectes de la tomate et du chou Mémoire de fin de cycle, 22-23p.
- [10] COULIBALY Issa, 2014 : Etude comparative de deux systèmes de production : coton biologique et coton conventionnel à la Sous Station de Recherche Agronomique de Farako/Finkolo. Mémoire de fin de Cycle, 15-16-17p.
- [11] COULIBALY A. K., 1992 : Miglioramenti delle tecniche di allevamento massale degli insetti entomofagi parasitoidi in particolare riguardo ai Ditteri tachinidi allevati su *Galleria mellonella* L., Thèse de doctorat, blibli.Naz. Roma, Firenze -It., LaBaLi Katibougou ML.
- [12] COULIBALY A. K., 2005 : La dynamique des insectes entomophages et phytophages de la culture du cotonnier dans les conditions agro-pédoclimatiques de Katibougou. Rapport Narratif, Lab.Bio.Art.Lutt.Int,IPR/IFRA 48p.
- [13] DE BACH P., 1964: Biological control of insect Pest and weeds. - Chapman and Hall, Lodon, 844 p.
- [14] GUILLET P., 1972 : Effet d'un traitement à base de *Bacillus thuringiensis* sur les populations de chenilles défoliatrices en verger de pommiers. Mémoire de la troisième année, école nationale

- d'ingénieurs des travaux agricoles. Quetigny. 52 p.
- [15] HELVETAS -Mali, 2000 : Un manuel de références pour l'Afrique de l'ouest Guide de production du coton biologique et équitable.
 - [16] I.E.R. ; CIRAD.-CA Synthèses des connaissances sur le peuplement arthropodien associé au cotonnier au Mali; 23 P.
 - [17] KUKLINSKI F., 2000 : Les ravageurs de la culture cotonnière (avec une attention particulière à *Aphis gossypii* et ses ennemis naturels).Projet DPV/GT Madagascar nisama, 196p.
 - [18] MELLINI E., 1960 : Orientamenti e progressi negli studi Sul parassitismo degli insetti entomofagi ; Est.Att.Acc.Naz.Ita.Ent.Ren.ann.VII.
 - [19] Mémoire de fin de Cycle. IPR/IFRA, 89 p.
 - [20] MOSER F. et COULIBALY A.K, 2002 : Effet de quelques bio pesticides et des plantes pièges sur les ravageurs du coton biologique et leur ennemis naturels au Mali, Chweizerische 25p.
 - [21] PARRY G., 1982 : Le cotonnier et ses produits (technique agricole et production tropicale).
 - [22] Peter TON, 2006 : Promouvoir la production plus durable de coton : Possibilités au Burkina Faso et au Mali. Rapport final, FAO-PNUE, 66p.
 - [23] PIMENTEL D., 1978: -World Food, Pest Losses, and the Environment,-AAAS.
 - [24] SANGARE A. et COULIBALY A. K, 2001. : Etude comparative des modes de protections conventionnelles et biologiques dans les conditions agro pédoclimatiques de Katibougou, Rapport finale 60 p.
 - [25] Selected symposia series, westview Boulder, 206 p.),
 - [26] SAGARA K. et COULIBALY A.K, 1999: Etude comparative de l'activité des insectes entomophages à celle du pesticide cyperméthrine sur la population des arthropodes ravageurs du cotonnier dans les conditions agro-pédoclimatiques de Katibougou. Mémoire de Fin de Cycle, IPR /IFRA, 32 p.
 - [27] SIDIBE D. et COULIBALY A. K, 2000 : Etude comparatif de l'activité des insectes entomophages à celle du pesticide cyperméthrine sur la population des Arthropodes ravageurs du cotonnier dans les conditions agro - pédoclimatique de Katibougou.
 - [28] SILGUY C., 1994 : L'agriculture biologique, des techniques efficaces et non polluantes. Terre vivante, 187 p.
 - [29] STOLL G. : Natural Crop Protection inThe Tropics, 370p.
 - [30] TRAORE MOHAMED, 2011 : Impacts des pratiques conventionnelles et biologiques sur l'arthropodofaune du cotonnier. Mémoire de fin de cycle. IPR/IFRA .1-27p.
 - [31] UNESCO ,1960 : Les plantes médicinales des régions aride. Paris, 99p.
 - [32] VALENGHI D. et GEUNAT D., 2001 : Coton biologique au Mali, Helvetas-Mali, 44 p.
 - [33] Victorin A. HOUNDEKON, 2p.
 - [34] VINCENT .C et CODERRE. D, 1992 : La lutte biologique, 671 p.
 - [35] WIKIPEDIA-06/09/2009-
/http://fr.wikipedia.org/wiki/ Agriculture biologique.
 - [36] ZONGO J ; 1990 : Le Neem, *Azadirachta indica* A. juss. Revue sur ses propriétés pesticides Bulletin d'information en protection des végétaux de L'UCTR/PV, (20) 12-22p. (AMANI).

Effet de l'alimentation in ovo des hydrates de carbone et de l'arginine sur le taux d'éclosion chez le canard

Moussa TANGARA ^{1*}, Boubacar DEMBELE¹, Jia Xu ², Wei CHEN ² et Jian PENG

¹ Laboratoire de Nutrition Animale et d'Agrostologie, Département des Sciences et Techniques d'Elevage, Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou, Koulikoro, Mali

² Laboratoire de Nutrition Moléculaire, Collège des Sciences Animales et de la Technologie, Université d'Agriculture de Huazhong, Chine

*Adresse de correspondance : moussatangara2000@yahoo.fr

RESUME: La réduction de la mortalité embryonnaire chez les canards est un challenge très important pour la production avicole. La technologie de l'alimentation in ovo avec les nutriments exogènes peut être une opportunité dans le but de parvenir à une amélioration du taux d'éclosion. Une étude a été effectuée au laboratoire de nutrition moléculaire afin de déterminer l'effet de l'alimentation in ovo des hydrates de carbone et de l'arginine sur le taux d'éclosion chez le canard. L'échantillon était constitué de 1000 oeufs repartis en cinq groupes de 200 oeufs chacun et assignés à un des cinq traitements suivants: 1) contrôle; 2) chlorure de sodium; 3) hydrates de carbone (CHO); 4) arginine (Arg); 5) (CHO+Arg). Au 23^e jour de l'incubation, après le mirage des oeufs pour visualiser l'amnion, la place appropriée pour l'injection a été choisie et désinfectée avec une solution de 75% d'alcool éthylique tout juste avant l'injection des solutions nutritives. Les oeufs ont été injectés manuellement avec 1,2 ml de solution nutritive dans le liquide amniotique en utilisant une seringue de 5 ml. Aussitôt après l'injection, l'ouverture servant de voie physiologique a été fermée avec de la paraffine. Tous les oeufs alimentés in ovo et ceux du traitement contrôle ont été placés dans les paniers d'éclosion jusqu'au jour d'éclosion. Les oeufs ont été incubés conformément aux *directives* et à la *réglementation* en expérimentation animale de l'Université d'Agriculture de Huazhong. A l'éclosion, le nombre de canetons éclos a été déterminé. Les données ont été analysées par ANOVA (SAS, 1996). Le taux maximal d'éclosion a été obtenu dans le traitement (P < 0.01) alimenté avec CHO+Arg (94%), suivi de l'arginine (92%), du contrôle (86%), du chlorure de sodium (74%) et de CHO (72%). Ces résultats révèlent que l'alimentation in ovo avec l'arginine et l'association des hydrates de carbone avec l'arginine peut optimiser le taux d'éclosion. Cette étude ouvre des perspectives intéressantes pour la réduction de la mortalité embryonnaire chez les canards.

Mots-clés: Alimentation in ovo; taux d'éclosion ; embryon ; canard.

I. INTRODUCTION

Le développement dynamique de la production de canard joue un rôle important dans l'essor des productions animales dans le monde [5]. *Cependant, malgré cette progression*, le taux de mortalité embryonnaire reste élevé chez le canard. Le premier facteur qui peut sévèrement influencer la production efficiente de la volaille émerge d'être la réduction du taux d'éclosion [12]. Dans le but de booster un développement durable et une croissance soutenue de la production de canard, il est nécessaire de réduire les détresses prénatales qui ont une conséquence néfaste sur le taux d'éclosion des oeufs de canard. [3] a étudié l'héritage génétique du taux d'éclosion et a rapporté que l'héritabilité du taux d'éclosion des oeufs de canard est faible et que la voie de la sélection génétique pour améliorer le taux d'éclosion est très lente et onéreuse.

Certains travaux réalisés sur la volaille ont suggéré que le processus d'éclosion chez le canard est plus complexe comparativement à la poule et la dinde, du aux propriétés physico-chimiques et aux fonctions biologiques de la coquille de l'oeuf de canard telles

que la densité [2; 1]. Ces spécificités physico-chimiques et biologiques peuvent affecter la nutrition énergétique, causer le stress prénatal et ralentir la dynamique de la croissance embryonnaire [9]. Un tel stress prénatal peut ainsi engendrer une forte mortalité embryonnaire pendant le dernier tiers de l'incubation. De plus, il a été trouvé que le taux d'éclosion des oeufs de canard en incubation est généralement faible chez le canard (environ 65-72%) en comparaison expérimentale avec celui de la poule (approximativement de 81 à 85%) et de la dinde (environ 80 à 84%) [7].

Une éclosabilité de 65 à 72% en incubation artificielle est considérée comme non satisfaisante pour booster la production moderne de canard.

Cette faible éclosabilité chez le canard est l'un des aspects les moins investigués chez cette espèce dans la littérature. La plupart des chercheurs qui ont évoqué cette problématique non moins importante avaient parlé des caractéristiques physico-chimiques de l'oeuf de canard.

Par ailleurs, un effort de recherche considérable est actuellement consenti pour résoudre le faible taux

d'éclosion en améliorant le taux normal d'éclosion dans la production commerciale de la volaille. De nombreuses études ont montré que la supplémentation des embryons en croissance avec les solutions nutritives est une technique nutritionnelle, qui peut aider à surmonter les contraintes métaboliques et le déficit énergétique limitant la survie de l'embryon [14]. Le taux d'éclosion chez la dinde a été amélioré par l'alimentation des embryons de dinde au 23 et 24^{ème} jour de l'incubation avec les hydrates de carbone, les protéines et les acides aminés [6 ; 10]. Selon [14], le statut énergétique de l'embryon à terme est positivement corrélé avec le taux d'éclosion chez la poule et la dinde. Cela indique que le dépôt des réserves nutritives pendant la dernière phase de l'incubation améliore probablement la survie de l'embryon et l'éclosion dans les conditions souhaitables [8].

De nos jours, la qualité des canetons à l'éclosion est une caractéristique importante pour la production de canards de chair.

Cette étude a pour objectif d'évaluer les effets de l'alimentation de l'embryon de canard d'âge de 23 jours avec des solutions contenant des hydrates de carbone (CHO) et l'arginine (Arg) sur le taux d'éclosion.

II. MATERIEL ET METHODES

Le comité d'éthique en matière d'expérimentation animale du collège des sciences animales de l'Université d'Agriculture de Huazhong a approuvé ce protocole de recherche conformément aux lignes directrices établies par le conseil Chinois de protection des animaux.

2.1 Site et dispositif expérimental

L'étude a été conduite dans le laboratoire de nutrition moléculaire de l'Université d'Agriculture de Huazhong. Les solutions nutritives ont été formulées dans les conditions hygiéniques pour contenir des hydrates de carbone (saccharose et maltose) et l'arginine. L'impact des solutions nutritives sur le taux d'éclosion a été évalué relativement aux traitements NaCl et contrôle.

2.2 Principe de l'alimentation in ovo

Le principe repose sur l'administration de nutriments directement dans l'œuf à couvrir afin de favoriser le développement néonatal à terme.

L'incubation et la phase néonatale correspondent à près de 50 % de la vie d'une volaille. Il faut donc agir au plus tôt pour faciliter le développement du système digestif.

Cela passe par une bonne maîtrise des conditions d'incubation et un apport nutritionnel adapté. La solution nutritive est composée de nutriments (sucres, acide aminé, sel et eau) qui doivent être préalablement irradiés pour éviter tout risque de contamination.

La solution nutritive est injectée dans le liquide amniotique vers 23 jours d'incubation, au moment où l'embryon du canard commence à l'ingérer. Le jour de l'éclosion, les villosités intestinales des poussins nourris in ovo sont plus longues que celles des poussins non nourris in ovo [14]. De plus, la nutrition in ovo peut augmenter les réserves de glycogènes, améliore la capacité digestive de l'embryon à terme et réduit la mortalité prénatale [14 ; 15].

2.3 Procédures de l'alimentation in ovo

Les oeufs de canards ont été incubés pendant 28 jours dans les conditions normales d'hygiène. Au 22^{ème} jour de l'incubation, 1000 oeufs avec les embryons viables ont été identifiés par numéro individuel et pesés. Tous les oeufs ont été repartis en cinq groupes de 200 oeufs chacun avec un poids moyen de 80,20g. Les traitements expérimentaux étaient les suivants: 1) le traitement contrôle ;2) 0,38% chlorure de sodium (NaCl); 3) 2,5% saccharose + 2,5% maltose (CHO); 4) 0,12% arginine (Arg) et 5) 2,5% saccharose + 2,5% maltose + 0,12% arginine (CHO + Arg). Toutes les solutions nutritives ont été préparées dans la solution stérilisée de 0,38% de NaCl. Au 23^{ème} jour de l'incubation, après le mirage des oeufs pour visualiser l'amnion, la place appropriée pour l'injection a été choisie et désinfectée avec une solution de 75% d'alcool éthylique tout juste avant l'injection des solutions nutritives. Les oeufs ont été injectés manuellement avec 1,2 ml de solution nutritive dans le liquide amniotique en utilisant une seringue de 5 ml. Aussitôt après l'injection, l'ouverture servant de voie physiologique a été fermée avec de la paraffine. Tous les oeufs alimentés in ovo et ceux du traitement contrôle ont été placés dans un éclosoir TANG MING IB- 5890 d'une capacité de 3000 œufs jusqu'au jour d'éclosion (Figures 1 et 2).



Figure 1 : Schéma illustrant la supplémentation des embryons avec les solutions nutritives.



1) Œufs injectés 2) Canetons émergeant de la coquille 3) Ecllosion
Jour 23 Jour 27,5 Jour 28
de l'incubation

Figure 2 : Statut développemental des embryons de canard

2.4 Procédure de détermination du taux d'éclosion

A 27,5 et 28 jours d'incubation, quand tous les canetons étaient complètement secs, ils ont été retirés de l'éclosoir.

Tous les canetons éclos en bon état ont été comptés. Le taux d'éclosion pour chaque traitement a été déterminé comme le pourcentage des canetons éclos au nombre total des œufs fertiles, selon la formule :

$$\text{Taux d'éclosion} = \frac{(\text{Nombre canetons})}{\text{nombre d'œufs fertiles incubés}} \times 100$$

2.5. Analyse statistique

Les effets des solutions nutritives ont été évalués relativement aux différents traitements. Les données ont été analysées par ANOVA (Analyse de Variance) avec le logiciel [11]. L'effet des traitements sur les paramètres étudiés a été considéré significatif quand la probabilité (P) est inférieure à 5% ($P < 0,05$).

III. RESULTATS

Les tests préliminaires conduits pendant les 20, 21, 22, 23 et 24^e jours de l'incubation sur cent vingt oeufs de canard ont indiqué un taux moyen d'éclosabilité de 85% par traitement au 23^e jour de l'incubation. Les résultats partiels de ces essais ont permis de suggérer que le 23^e jour peut-être le moment approprié pour l'injection des nutriments dans le liquide amniotique du canard. D'autres essais on montré que la dose 1,2 ml de solution nutritive testée n'a pas eu d'effets néfastes sur le taux d'éclosion (Figure 3).

L'analyse des données consignées dans le tableau montre que le taux maximal d'éclosion a été obtenu dans le traitement ($P < 0.01$) alimenté avec CHO+Arg (94%), suivi de l'arginine (92%), du contrôle (86%), du chlorure de sodium (74%) et de CHO (72%). De plus, les analyses ont révélé que l'alimentation in ovo avec de l'arginine et de CHO+Arg a considérablement augmenté le taux d'éclosion de 10,09% et 10,06%, comparées au contrôle, respectivement ($P < 0.0001$; $n = 200$). Il devient alors possible d'améliorer le taux d'éclosion lorsqu'on

améliore le statut nutritionnel de l'embryon pendant le dernier tiers de l'embryogénèse.



Figure 3 : Les canetons issus de l'pendant les premières heures de leur vie.

Au regard de ces résultats, il a été trouvé aussi que l'alimentation in ovo avec du NaCl a diminué le taux d'éclosion de 8%, suggérant que l'administration du NaCl dans le liquide amniotique n'a pas manifesté d'effet positif sur le taux d'éclosion, en comparaison avec le contrôle.

Tableau : Effets de l'alimentation in ovo du NaCl, CHO, Arg, CHO+Arg et du contrôle sur le taux d'éclosion des œufs fertiles de canard¹

Traitements ²	Taux d'éclosionnn	
	Nombre d'œufs fertiles incubés	(%) ³ Taux d'éclosion
Contrôle	200	86%
NaCl	200	74%
CHO	200	72%
Arg	200	92%
CHO+Arg	200	94%

¹Toutes les données représentent la valeur moyenne de 200 oeufs fertiles par traitement expérimental.

² Le traitement contrôle est le traitement qui n'a pas reçu de solutions nutritives. Le traitement NaCl contient 0,38% de NaCl. Le traitement CHO contient 2,5% de saccharose + 2,5% de maltose dans 0,38% de NaCl. Le traitement Arg contient 0,12% d'arginine dans 0,38% de NaCl. Le traitement CHO+Arg contient 2,5% de saccharose + 2,5% de maltose + 0,12% d'arginine dans 0,38% de NaCl

³ Les données représentent le pourcentage de canetons éclos par le nombre d'oeufs fertiles incubés (200 oeufs par traitement).

IV. DISCUSSION

Dans la production industrielle de la volaille, le taux d'éclosion est un paramètre important [12]. La présente étude a démontré une amélioration du taux d'éclosion sous l'effet de l'alimentation de l'Arg seule et de l'association des CHO avec l'Arg dans la solution nutritive. Il est apparent que l'effet bénéfique majeur a été manifesté quand le CHO est

associé avec l'Arg en comparaison avec le contrôle, suggérant que l'ingestion du CHO et de l'Arg en association pourrait affecter positivement le développement de l'embryon en améliorant la survie des embryons de canard. Cette amélioration de la survie de l'embryon résulte probablement de l'augmentation de la capacité du caneton à produire de l'énergie nécessaire pour une bonne éclosion. Ces résultats sont comparables avec ceux de [13], [15] et [6], qui ont trouvé un taux d'éclosion élevé avec l'alimentation in ovo des œufs de poule au 17^{ème} jour et des œufs de dinde au 23^{ème} jour de l'incubation. La technologie de l'alimentation in ovo pourrait être une méthode importante de recherche dans l'industrie avicole. Mieux encore, la technique de l'alimentation peut être un potentiel moyen d'augmenter la population de canard en réduisant la mortalité embryonnaire.

Par ailleurs, l'alimentation in ovo avec le CHO seul a causé une réduction notable du taux d'éclosion.

Certainement, cette situation pourrait être associée avec la capacité de la solution nutritive contenant le CHO seul de causer le stress métabolique sur l'embryon en développement [4]. Cela pourrait contribuer à réduire la production endogène de glucose via la néoglucogenèse hépatique, altérer le développement embryonnaire et réduire la capacité des canetons d'émerger de la coquille.

A la lumière de ces résultats, il est difficile dans cette première étude de comprendre l'effet négatif des CHO sur le taux d'éclosion chez le canard. Toutefois, à partir de ces observations, l'hypothèse proposant que la supplémentation de l'embryon d'âge de 23 jours peut aider à améliorer le taux d'éclosion ne doit pas être totalement rejetée. Des investigations supplémentaires sont en cours pour mieux comprendre l'effet des CHO sur le métabolisme et la survie de l'embryon pendant le dernier tiers de l'incubation.

V. CONCLUSION

L'analyse des données suggère la possibilité d'amélioration du taux d'éclosabilité des œufs de canard par la supplémentation des embryons en développement avec les solutions nutritives exogènes. Les meilleurs résultats ont été obtenus chez les embryons de 23 jours nourris par les solutions nutritives Arg et la combinaison des CHO avec l'Arg. Des études ultérieures doivent être conduites et répliquées avec des effectifs élevés pour confirmer si l'alimentation in ovo peut être une technologie prospective dans le but d'améliorer le taux d'éclosion chez le canard.

Au regard des présents résultats, la méthode de l'alimentation in ovo offre une opportunité de recherche d'améliorer la capacité de l'embryon de canard, de stocker de l'énergie supplémentaire pour une émergence normale à travers la coquille et pour une éclosion adéquate.

Cette technologie nutritionnelle permettra de mieux raisonner les bonnes stratégies d'amélioration du taux d'éclosion dans la production moderne de canard.

REFERENCES

- [1] Balkan, M., Karakas, R. and Biricik, M. (2006). Changes in eggshell thickness, shell conductance and pore density during incubation in the Peking duck (*Anas platyrhynchos* f. dom.). *Ornis Fennica*, 83: 117-123.
- [2] Changkang, W., Ang, L. L. and Guangying, W. (1999). Effects of the quantitative characters of hatching eggs on hatchability in Muscovy duck. 1st World Waterfowl Conference Proceedings, (P): 188-192.
- [3] Crawford, R.D. (1990). Poultry breeding and genetics. *Elsevier Science publishers*, B.V., Netherlands.
- [4] Donaldson, W. E. (1995). Carbohydrate, hatchery stressors affect poult survival. *Feed stuffs*, 67 (14): 16-17.
- [5] Food and Agricultural Organization (FAO). (2007). Prod STAT (Provides statistics): *Livestock* (primary and processed).
- [6] Foye, O. T. (2005). The biochemical and molecular effects of amniotic nutrient administration, on intestinal development and function and carbohydrate metabolism in turkey embryos and poults. Ph.D. Dissertation. North Carolina State University. *Raleigh, NC*.
- [7] Hodgetts, B. (1991). Current hatchabilities in species of domestic importance and the scope for improvement: Avian incubation. S. G. Tullet, ed. Butterworth Heinemann, *Boston, MA*. (P): 139-144.
- [8] John, T. M., George, J. C. and Moran, E. T. Jr. (1987). Pre-and post-hatch ultrastructural and metabolic changes in the hatching muscle of turkey embryos from antibiotic and glucose treated eggs. *Cytobios*, 49: 197-210.
- [9] Keiko, O., Yoshihiro, Y., Juilin, T. and Kazuo, L. (1985). Gas exchange and oxygen analyzing gas permeation of duck eggs by the use of oxygen analyzing apparatus. *Analytical sciences*, volume (1).
- [10] Oliveira, J. E. de., Uni, Z. and Ferk, P. R. (2008). Important metabolic pathways in poultry embryos prior to hatch. *World's Poultry Science Journal*, volume (64).
- [11] SAS User's Guide. (1996). Version 6, SAS Institute Inc., Cary, *North Carolina*.

- [12] Schaal, T. and Cherian, G. (2007). A survey on the hatchability of broiler and turkey eggs in the United States from 1985 through 2005. *Poultry Science*, 86: 598-600.
- [13] Tako, E., Ferket, P. R. and Uni, Z. (2004). Effects of in ovo feeding of carbohydrates and β -hydroxy- β -methyl butyrate on the development of chicken intestine. *Poultry Science*, 83: 2023-2028.
- [14] Uni, Z. and Ferket, P. R. (2003). Enhancement of development of oviparous species by in ovo feeding. *U.S. Patent* No 6: 592,878 B2.
- [15] Uni, Z., Ferket, P. R., Tako, E. and Kedar, O. (2005). In ovo feeding improves energy status of late-term chicken embryos. *Poultry Science*, 84: 764-770.

Bioécologie de l'*IMBRASIA* SP (lépidoptères, saturniidae) en station d'élevage

Bakary SAGARA¹, Amoro COULIBALY¹, Abou COULIBALY¹

¹IPR/IFRA de Katibougou

Corresponding Email address: bakarysagara@yahoo.fr & couliblya2002@yahoo.fr

RESUME: les chenilles comestibles occupent une place importante dans certaines localités du Mali. De ce fait, elles constituent une source importante de subsistance. Le changement climatique et les mutations des biotopes, essentiellement d'origine anthropique, entraînent le déclin de nombreuses espèces animales et végétales. La méthodologie a consisté essentiellement à constituer un élevage à partir de chenilles sauvages capturées à Diéma et au suivi d'*Imbrasia* sp. à différents états de développement (chenille, chrysalide, adulte, œuf). La durée a été évaluée en jour et la taille des différents stades de développement en millimètre. *Imbrasia* sp. est univoltine avec une diapause de $308,88 \pm 7,68$ jours. Les chrysalides sont fusiformes et composées de 5 segments visibles. Les premiers adultes émergent à partir de mi juillet. La durée de vie de l'adulte est de $3,74 \pm 0,89$ jours. L'envergure moyenne de l'adulte est de $126,53 \pm 3,89$ mm. Le nombre moyen d'œufs par ooplaque est de $86,90 \pm 34,79$ œufs et la durée d'incubation est de $12,22 \pm 1,10$ jours. Le stade larvaire dure en moyenne $34,32 \pm 2,29$ jours. La taille évolue de $10,03 \pm 1,27$ mm au stade I à $77,14 \pm 9,74$ mm au stade V. L'activité principale des chenilles est la prise de nourriture pendant les 5 semaines du stade larvaire

Mots clés : Lépidoptère, Saturniidae, *Imbrasia*, cycle de vie, entomologie, biologie

I. INTRODUCTION

Au Mali, la population essentiellement pauvre (63,8%) exerce sur l'environnement une pression de plus en plus insoutenable [1]. Pour relever ces défis majeurs que sont la pauvreté, la faim et la dégradation de l'environnement, les gouvernements successifs tentent de satisfaire les besoins essentiels des populations. Dans la recherche de solutions, la valorisation de la biodiversité est une piste à explorer [2,3]. Actuellement des efforts sont fournis en vue d'améliorer l'utilisation des produits forestiers non ligneux qui sont utiles aux populations rurales.

Ainsi, en 2002, le Programme des Produits forestiers non ligneux (PFNL) de la FAO, soulignant la prise de conscience du besoin de développer d'avantage la sensibilisation sur le potentiel des insectes comestibles dans les stratégies de survie des populations qui dépendent de la forêt, a lancé une étude sur les chenilles afin de connaître leur rôle et leur importance dans les moyens d'existence locaux mais aussi pour répondre aux manques de connaissances sur ce sujet [4].

En plus, le changement climatique et les mutations des biotopes, essentiellement d'origine anthropique, entraînent le déclin de nombreuses espèces animales et végétales.

Le but de ce travail est de fournir des informations sur les aspects biologiques (morphologie et comportements) et le cycle de vie (durée des différents stades) de *Imbrasia* sp en milieu semi-contrôlé.

II. METHODOLOGIE

Les données ont été collectées en 2009, 2010 et 2011 en station. En 2009, de juillet à septembre, la température moyenne enregistrée a été de $27,59^{\circ}\text{C}$ et l'hygrométrie moyenne a été de 72,96%. En 2010, pendant la même période, la température moyenne a été de $27,38^{\circ}\text{C}$ et l'hygrométrie moyenne a été de 77,90%. La température moyenne a été de $27,85^{\circ}\text{C}$ avec une hygrométrie moyenne de 82,32% de juillet à septembre 2011.

1.1 Obtention du matériel biologique de départ

Le cycle de vie des insectes est complexe à la différence des mammifères. *Imbrasia* sp. étant un Lépidoptère (Saturniidae), il est donc un holométabole.

Les chenilles sauvages âgées ont été collectées sur différentes plantes hôtes à Débo-Massasi (Cercle de Diéma). Les chenilles ont été mises en élevage dans les cages disposées dans une pièce dans des conditions naturelles. Elles se nourrissaient sur des rameaux de plantes hôtes qui leur étaient apportés matin et soir.

Après les décomptes des chenilles mortes, les chenilles manquantes ont été considérées comme celles ayant passé au stade de chrysalide.

L'année suivante, les adultes émergés ont été placés dans des cages placées sur les plantes hôtes (*Guira senegalensis*, *Combretum glutinosum*, *Piliostigma reticulatum*) pour l'élevage (Erreur ! Source du renvoi introuvable.).



Figure 1: Cage placée sur *G. senegalensis* pour l'élevage d'*Imbrasia* sp

1.1 Détermination de la durée du cycle de développement

Détermination de la durée de la diapause

Les chrysalides (81) obtenues de l'élevage de 2008 ont été gardées dans des cages posées sur des boîtes protectrices.

Les cages étaient examinées deux fois par jour (à 8h et à 22h). En cas de présence d'adulte dans une cage, la date d'émergence a été enregistrée et ensuite l'adulte a été retiré et placé dans une autre cage. Les dates de passage des chenilles à la chrysalide et d'émergence des adultes ont permis de déterminer la durée de la diapause.

Détermination de la durée de vie de l'adulte

Les adultes issus des chrysalides ont été placés individuellement dans des cages (55x40x40cm) grillagées, étiquetées et placées à l'ombre. Les cages ont été examinées pour enregistrer les dates de mort des adultes. Les dates d'émergence et de mort des adultes ont permis de déterminer la longévité.

Détermination de la durée d'incubation des œufs

Dans chaque cage (155x175x130cm) a été placé un couple d'*Imbrasia* sp. constitué d'un mâle et d'une femelle âgés d'un jour. Les cages ont été inspectées matin et soir à la recherche d'œuf. Les dates de ponte et d'éclosion de chaque œuf ont été enregistrées. Après chaque ponte, le couple d'adultes a été remplacé par un nouveau couple.

Le nombre d'œufs suivi a été 15 par an.

Détermination de la durée du stade larvaire

Les colonies de chenilles obtenues à partir d'œufs suivies ont été gardées sur place. En raison de l'habitude «grégaire» des individus jeunes (stades larvaires L1 et L2), il a été impossible d'élever les chenilles individuellement. Les chenilles de la même colonie ont été considérées comme une seule entité. Les chenilles ont été dénombrées matin et soir jusqu'à la nymphose dans chacune des 6 cages d'élevage. Les dates de mues de chaque colonie ont été enregistrées. Les observations se sont déroulées d'août à septembre.

Traitement et analyse des données

Les données recueillies ont été traitées et analysées avec Microsoft Excel 2007 et XLSTAT 7.5. L'outil ANOVA à un facteur a été utilisé pour déterminer

les durées moyennes et les écart-types des états et stades larvaires.

Les moyennes des durées des différents états et stades larvaires de 2009, 2010 et 2011 ont été comparées par les tests de Tukey (HSD), Fisher (LSD) et Bonferroni.

1.2 Observations sur le phénotype et les comportements

Collecte de données sur les chrysalides

Les chrysalides ont été détectées deux jours après la diapause de toutes les chenilles. La profondeur à laquelle se trouve la chrysalide a été mesurée avec un ruban métrique. Ce ruban métrique a été utilisé pour établir la taille de la chrysalide. Le poids de chaque chrysalide a été déterminé à l'aide d'une balance OHAUS corps USA, max 65g.

Les chrysalides mâles et femelles ont été différenciées par l'observation avec la loupe [5].

Collecte de données sur les adultes

L'envergure a été déterminée. A l'aide d'une loupe, les différentes parties du corps de l'adulte ont été observées afin de les décrire et de différencier les mâles des femelles sur la base morphologique [6].

Dans le terroir de Débo Massassi, les adultes ont été capturés à l'aide d'un piège lumineux pour déterminer les habitudes. Le nombre d'adultes mâles et femelles et l'heure de capture ont été enregistrés.

Dénombrement des œufs d'œuf

A l'aide d'un appareil numérique Samsung S860, 129 œufs ont été photographiés et les images transférées à l'ordinateur. Avec le logiciel de traitement des images (Paint de Windows), le nombre d'œufs par œuf a été déterminé.

Collecte de données sur les chenilles

Les chenilles 2 jours après chaque mue ont été mesurées. Pour les mensurations, 10 chenilles de stades I (L1), II (L2) et III (L3) ont été choisies au hasard et 30 chenilles de stades IV (L4) et V (L5) (Figure 2).



Figure 2: Mesure de la longueur d'une chenille d'*Imbrasia* sp. de stade larvaire L5

Pour déterminer le comportement des chenilles d'*Imbrasia* sp. en fin de stade, 10 chenilles de stade larvaire L5 ont été placées dans une cage 85x85x120cm non tapissée de terre. Elles ont été nourries avec des rameaux de feuille de *G. senegalensis* jusqu'à la diapause. Les comportements observés (prise de nourriture, déplacement, aspect morphologique) ont été notés. Afin d'estimer la quantité de nourriture prélevée par une chenille en 24h. Les chenilles de stade larvaire

L5 prélevées sur *G. senegalensis* au nombre de 18 ont été placées dans une cage pour déterminer la voracité. Ces chenilles ont été nourries pendant 8 heures par les feuilles de *G. senegalensis*. Ensuite les crottes ont été dénombrées et pesées à l'aide d'une balance OHAUS corps USA, max 65g. A partir des résultats, la quantité de matière ingérée par une chenille de stade V en 24h a été déterminée.

Traitement et analyse des données

Les termes techniques essentiels utilisés ici ont été choisis selon le sens de Seguy [7]. L'outil d'ANOVA a été utilisé pour déterminer les moyennes, les écart-types des mensurations. Les moyennes des différentes mensurations ont été comparées par les tests de Tukey (HSD) et Fisher (LSD).

III. RESULTATS

Longévité et cycle de vie

Durée de la diapause

La durée moyenne de la diapause est de $308,88 \pm 7,68$ jours. La durée courte de la diapause a été constatée de 2009 à 2010 ($301 \pm 8,48$ jours). La durée longue a été enregistrée pendant la période 2010-2011 ($319 \pm 6,87$ jours).

En septembre 2008, le passage à la diapause a duré 9 jours. Les premiers adultes ont émergé en mi juillet 2009 et pendant 13 jours. La diapause a durée $305,5 \pm 3,53$ jours.

Durée de vie de l'adulte

Dans les conditions d'élevage en station, les adultes d'*Imbrasia* sp. ont vécu en moyenne $3,74 \pm 0,89$ jours. Les durées de vie selon les années ont été les suivantes: 3,87 jours en 2011; 3,70 jours en 2009 et 3,67 jours en 2010. Les durées de vie des adultes en 2009, 2010 et 2011 ne sont pas significativement différentes.

Durée d'incubation des œufs

Dans les conditions d'élevage en station, la durée moyenne d'incubation des œufs est de $12,22 \pm 1,10$ jours.

Les durées d'incubation des œufs en 2011 ont été significativement différentes des durées d'incubation des œufs en 2009 et 2010.

Durée des stades larvaires

Le stade larvaire a duré en moyenne $34,32 \pm 2,29$ jours avec une variation de 31 à 39 jours dans les conditions d'élevage en station. La différence entre les durées des stades larvaires de 2010, 2011 et 2012 n'est pas significative.

Les durées moyennes des différents stades larvaires sont les suivantes:

- Stade larvaire L1 = $6,33 \pm 0,76$ jours;
- Stade larvaire L2 = $6,29 \pm 1,40$ jours;
- Stade larvaire L3 = $6,37 \pm 1,31$ jours;
- Stade larvaire L4 = $7,35 \pm 1,05$ jours et
- Stade larvaire L5 = $8,58 \pm 1,27$ jours.

1.3 Caractéristiques phénotypiques et comportements

Chrysalides

La nymphose a lieu dans le sol. Les chenilles se sont enfoncées dans le sol à une profondeur de 8,10 à 10,60cm. A l'air libre, au premier jour de la diapause, les chrysalides ont une couleur jaune qui vire progressivement au noir (Figure 3).



Figure 3 : *Imbrasia* sp. : Chrysalide d'un jour sur le sol et chrysalide à moitié enfouie dans le sol dans la cage d'élevage en 2009

Les chrysalides sont fusiformes et composées de 5 segments visibles. Elles mesurent en moyenne $33,81 \pm 1,76$ mm avec un poids moyen de $3220,27 \pm 131,75$ mg. La bordure de la face ventrale du dernier segment des chrysalides mâles forme une ligne droite parallèle au segment précédent. Chez les chrysalides femelles, cette ligne est en forme de V.

Adultes

L'envergure moyenne de l'adulte est de $126,53 \pm 3,89$ mm. Les ailes sont brunes ou brun noirâtre. Une bande brun noire diffuse parcourt les ailes antérieures, elle est mince sur les ailes postérieures. Chaque aile possède un ocelle. Sur les ailes postérieures ils sont petits. Ils sont grands et cerclés de brun, de noir et de blanc sur les ailes antérieures. Le thorax et l'abdomen sont bruns. Les pièces buccales sont atrophiées.

Les antennes brun noirâtre sont pectinées chez l'adulte mâle et chez la femelle, elles sont brunes minces et fines.

Les mâles et les femelles sont attirés par la lumière. A Débo Massassi, entre 20h et 22h, le nombre de femelles capturées est 3 fois supérieur au nombre de mâles capturés et de 22h à 23h30 le nombre de femelles capturées est 2 fois inférieur au nombre de mâles capturés.

Œufs

Les œufs sont disposés côte à côte en masse (ooplaque), sur la face inférieure des feuilles les uns à côté des autres, formant des figures variables: en polygone, cordiforme, quelconque. Ils sont blancs. Le nombre moyen d'œufs par ooplaque a été $86,90 \pm 34,79$ œufs. Le nombre moyen d'œufs en 2012 a été significativement différent des nombres moyens d'œufs de 2010 et 2011.

Chenilles

Aux stades larvaires L1 et L2, les chenilles vivent sur la face inférieure des feuilles.

Au stade larvaire L1, elles sont jaunes avec une tête brune. Leur taille moyenne est de $10,03 \pm 1,27\text{mm}$ (Figure 4).



Figure 4 : Colonie de chenilles d'*Imbrasia* sp. de stade larvaire L1 sur la feuille de *P. reticulatum*

Les chenilles au stade larvaire L2 ont la tête noire avec un corps noir parsemé de points blancs. La racine des épines est jaune. Elles ont une longueur moyenne de $14,90 \pm 2,74\text{mm}$ (Figure 5).

Les mesures effectuées en 2009, 2010 et 2011 ne sont pas significativement différentes.

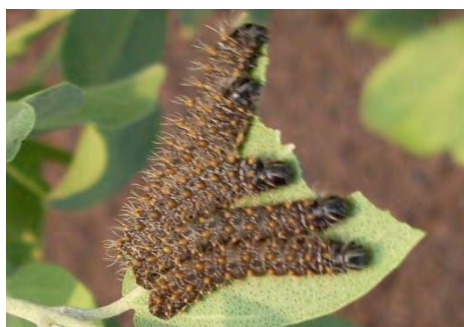


Figure 5 : Chenilles d'*Imbrasia* sp. de stade larvaire 2 sur une feuille de *G. senegalensis*

Les chenilles au stade larvaire L3 sont blanches tachetées de points noirs. La tête est brun foncé et le corps composé de 13 segments visibles porte sur les côtés des cercles noirs. La longueur moyenne est de $29,33 \pm 6,38\text{mm}$.

Les chenilles au stade larvaire L4 sont blanches avec des lignes noires longitudinales et dorsales. La tête est rouge avec des mandibules puissantes. La taille moyenne à ce stade est de $57,82 \pm 5,92\text{mm}$.

Les chenilles au stade larvaire L5 sont blanches avec une couleur plus vive que celle des chenilles de L4. Six épines rouges par segment protègent le corps. La taille moyenne est de $77,14 \pm 9,74\text{mm}$ (Figure 6). La différence n'est pas significative entre les mesures effectuées en 2010 et 2011.



Figure 6 : Chenilles d'*Imbrasia* sp. au stade larvaire L5 sur *G. senegalensis*

Le poids sec de la quantité de matière végétale ingérée par jour et par chenilles au stade larvaire L5 est de 5,29g en moyenne. Elle consomme donc 3,73 fois l'équivalent de son propre poids chaque jour.

Les chenilles aux stades larvaires L1 et L2 sont restées « grégaires » ensuite aux stades larvaires L3, L4 et L5 elles sont devenues solitaires jusqu'à la nymphose.

IV. DISCUSSIONS

Durée des stades

En station d'élevage, la durée moyenne de la diapause d'*Imbrasia* sp. est de $308,88 \pm 7,68$ jours, soit environ 10 mois. L'espèce est donc univoltine dans notre zone d'étude. Ce résultat est conforme en partie à ceux de Oberprieler [8,9]. En effet selon cet auteur, *Imbrasia belina* dans les zones arides est univoltine et bivoltine dans les zones humides.

La durée moyenne de vie de l'adulte d'*Imbrasia* sp. en station d'élevage est de $3,74 \pm 0,89$ jours. Cette durée de vie est similaire à celle de l'adulte d'*I. belina* qui est d'environ 5 jours dans des conditions de laboratoire et probablement de 2 à 3 jours dans la nature [10].

En station d'élevage, la durée moyenne d'incubation des œufs est de $12,22 \pm 1,10$ jours pour *Imbrasia* sp. En zone humide, les chenilles d'*I. belina* émergent après 10 jours d'incubation [11].

La durée du stade larvaire ($34,32 \pm 2,29$ jours) en station d'élevage d'*Imbrasia* sp est inférieure à la durée (42 jours) d'*I. belina* en Afrique Australe [12]. La durée de chaque stade larvaire peut varier entre les générations [8].

Caractéristiques phénotypiques et comportement

La nymphose s'effectue dans le sol. C'est un constat général fait par plusieurs auteurs [13]. Les chrysalides d'*Imbrasia* sp. ressemblent aux chrysalides d'*I. belina* sur le plan morphologique. Il en est de même pour les adultes des deux espèces. Les mâles sont différenciés des femelles au niveau des antennes [5].

Les différents sexes volent à différentes heures de la nuit. Les femelles sécrètent des phéromones en début de soirée pour attirer les mâles qui volent plus tard pour localiser ces femelles [6]. Lors des captures des adultes au piège lumineux à Débo Massassi en 2009,

les femelles étaient plus nombreuses que les mâles en début de soirée.

Les femelles d'*Imbrasia* sp. déposent en moyenne $86,90 \pm 34,79$ œufs sur la face inférieure des feuilles. *I. belina*, peut déposer jusqu'à 355 œufs en une ooplaque. Cette différence du nombre d'œufs peut être due au support végétal. En effet, *I. belina* vit sur un arbre [10, 14] alors que *Imbrasia* sp. colonise des arbustes.

La taille des chenilles d'*Imbrasia* sp. varie de $10,03 \pm 1,27$ mm à $77,14 \pm 9,74$ mm. Durant le stade larvaire, les chenilles d'*I. belina* augmentent 4000 fois de masse corporelle [12]. Cela est due au fait que la chenille au stade larvaire L5 sont voraces consomment 3,73 fois l'équivalent de son propre poids chaque jour. Les chenilles d'*Imbrasia* sp. du stade larvaire L1 au stade larvaire L2 sont grégaires. Alors que les chenilles d'*I. belina* du stade larvaire L1 au stade larvaire L3 sont strictement grégaires et forment des agrégations de 20 à 200 individus [9]. Les études ont montré que les agrégations permettent aux individus d'atteindre des températures corporelles stables qui réduisent les pertes en eau. Un tel règlement physiologique pourrait accélérer la croissance [15]. Ainsi la durée du stade larvaire est réduite, ce qui diminue le temps d'exposition aux ennemis et conditions biotiques défavorables.

V. CONCLUSIONS

A Débo Massassi, *Imbrasia* sp. est univoltine avec une diapause d'environ 10 mois. Les premiers adultes émergent à partir de mi juillet. La durée de vie de l'adulte est de 3 à 4 jours. La durée d'incubation des œufs est environ 12 jours. A l'éclosion, les chenilles sont grégaires du stade larvaire L1 au stade larvaire L2, ensuite elles sont solitaires jusqu'à la nymphose. L'activité principale des chenilles est la prise de nourriture pendant les 5 semaines que dure le stade larvaire.

REFERENCES

- [1] Direction nationale de la statistique et informatique (DNSI), 2003. *Enquête malienne sur l'évaluation de la pauvreté (EMEP), 2001. Résultats définitifs*. Bamako : Primature ; Banque mondiale.
- [2] Kombélé B M et Ngama B, 1995. Utilisation des sols de termitières et de paille sèche d'arachide comme fertilisants en cultures maraîchères à Yangambi (Zaire). *Cahiers Agricultures* ; 4 : 125-8.
- [3] Konaté S et Linsenmair, 2010. *Diversité biologique de l'Afrique de l'Ouest : importance, menaces et valorisation*. Pages 14 -32 in Sinsin B et Kampmann (Eds) : Atlas de la biodiversité de l'Afrique de l'Ouest, Tome I : Bénin, Cotonou & Frankfurt/Main.
- [4] FAO, 2003. *Produits forestiers non ligneux*. Division des produits forestiers. [En ligne]. Adresse URL : www.fao.org/forestry/site/6388/fr (Page consultée le 28/10/2008)
- [5] Gardiner A J, 2003. *Internal Final Report: Mopane Woodlands and the Mopane Worm: Enhancing Rural Livelihoods and Resource Sustainability*, DFID Project No. R7822. The Domestication of Mopane Worms (*Imbrasia belina*). Veld Products Research & Development, Gaborone, Botswana.
- [6] Scoble M J, 1995. *The Lepidoptera: Form, Function and Diversity*, 2nd edition. Oxford University Press.
- [7] Seguy E, 1967. *Dictionnaire des termes techniques d'entomologie élémentaire*. Editions Paul Lechevalier, Paris. 465 pages.
- [8] Oberprieler R G, 1991. Die Nachtpfauenaugen (Saturniidae) Südwestafrikas. 6. Das Braune oder Mopane-Nachtpfauenaugen *Imbrasia belina* (Westwood). *Mitteilungen der SWA Wissenschaftlichen Zgesellschaft* 31: 133-140.
- [9] Oberprieler R G, 1995. *The emperor moths of Namibia*. Ekogilde, Haart buspoort, RSA, 91 p
- [10] Dithlho M, 1996. *The ecology of Imbrasia belina (Westwood) in north-eastern Botswana*. In: Proceedings of the First Multidisciplinary Symposium on Phane., Gaborone, Botswana, eds B.A. Gashe & S.F. Mpuchane. NORAD.1996.
- [11] Klok C J and Chown S L, 1999. Assessing the benefits of aggregation: thermal biology and water balance of anomalous emperor moth caterpillars. *Functional Ecology* 13:417-427.
- [12] Gaston K J, Chown S L and Styles C V, 1997. Changing size and changing enemies: the case of the mopane worm. *Acta Oecologia* 18: 21-26.
- [13] Richards O W and Davies R G, 1988. *Imms' General Textbook of Entomology*, Tenth edition, volume 2 Classification and Biology, Chapman and Hall, p 421-1352.
- [14] Van den Berg M A, 1971. Studies on the egg parasites of the mopani Emperor moth *Nudaurelia belina* (Westw.) (Lepidoptera: Saturniidae). *Phytophylactica* 3: 33-36.
- [15] Reynolds S E and Nottingham F, 1985. Effects of temperature on growth and efficiency of food utilisation in fifth-instar caterpillars of the tobacco hornworm, *Manduca sexta*. *Journal of Insect Physiology* 31 :129-134.

Qualité microbiologique et diversité de la flore bactérienne des espèces de poisson frais d'eau douce du Mali vendues au marché de Médina Coura

Sissoko AMINATA¹, Samaké FASSÉ², Diabaté DAOUDA², Satigui SIDIBÉ¹, Sanogo YOUSSEF², Babana Amadou HAMADOUN²

¹ Laboratoire Central Vétérinaire(LCV)

² Laboratoire de recherche en microbiologie et biotechnologie microbienne (LaboREM-biotech)

Adresse e-mail de correspondance: sissokomi@yahoo.fr

RESUME : La qualité microbiologique des espèces de poisson frais d'eau douce du Mali vendues au marché de Médina Coura a été évaluée. Un échantillon composé de peau, de chair, d'intestins et de branchies, chacune des espèces les plus prisées et d'intérêt économique, a été prélevé.

La qualité microbiologique de ces poissons a été déterminée par la recherche et le dénombrement des germes totaux, les coliformes thermotolérants, les anaérobies sulfite-réducteur et les staphylocoques présumés pathogènes. Des galeries biochimiques Api 20^E ont été utilisées pour identifier les isolats obtenus.

Vingt (20) espèces de poisson d'intérêt économique et réparties entre 09 familles ont été retenues.

Les résultats montrent que, 95% des poissons ont une concentration en Flore aérobie mésophile totale (FAMT) qui dépasse largement la valeur limite acceptable et que seulement 5% sont conformes à la norme. Tous les échantillons de poisson analysés ont une concentration de coliformes fécaux et en staphylocoques supérieure à la valeur limite acceptable fixée par la norme, alors que 25% et 50% des poissons ne contiennent pas respectivement de salmonelles et de spores de bactéries anaérobies sulfite-réductrices.

La caractérisation biochimique des 80 isolats obtenus de la flore bactérienne de ces poissons montrent que 51% appartiennent à la famille Enterobacteriaceae, 23% Aeromonadaceae, 19% Pseudomonadaceae, 6% Moraxellaceae et 1% Vibrionaceae.

Mots clés: qualité microbiologique, poisson frais, eaux douces, Médina Coura, Mali.

I. INTRODUCTION

Le poisson et ses produits dérivés jouent un rôle considérable dans l'alimentation des populations de l'Afrique de l'Ouest (FAO, 2000). Le poisson est une denrée alimentaire de haute valeur nutritive mais très périssable. Il constitue aussi un complément précieux dans les régimes alimentaires pauvres en protéines, vitamines et sels minéraux essentiels.

Le sous-secteur de la pêche constitue un domaine clé de l'économie malienne. En période hydrologique normale, la production halieutique se situe autour de 100.000t/an. La valeur ajoutée brute de l'ensemble de la filière pêche est évaluée à plus de 90 milliards FCFA, soit 4,2 pour cent du PIB total du pays (FAO, 2007). La pêche contribue également pour une part importante au budget de l'Etat, par les divers impôts et taxes prélevés tout au long de la filière. Cette contribution est évaluée à environ 10 pour cent de la valeur ajoutée brute de la filière, soit environ 9 milliards FCFA.

Cependant, la conservation du poisson, notamment dans les pays chauds, est difficile en raison du manque d'infrastructures de conservation adéquates et du fait des conditions climatiques et d'environnement qui concourent à sa dégradation en quelques heures (Anihouvi *et al.*, 2005). Au Mali, il est généralement admis que les pertes physiques après-capture sont considérables en raison de la

précarité des conditions de transformation, stockage et de manipulation des produits. Le taux réel de pertes après captures se situe entre 5 et 10% en moyenne(Mali) et estimé à environ 20 % au Bénin (FAO, 2007, Anihouvi *et al.*, 2005).

Malgré cette importance sanitaire et nutritionnelle, le poisson renferme des germes susceptibles d'altérer sa qualité sanitaire et marchande.

Ainsi, la flore microbienne ichthyenne mérite une attention particulière et doit être étudiée non seulement pour la préservation de la santé du poisson mais aussi pour les stratégies de gestion des stocks dans les lieux d'entreposage.

Ainsi, la présente étude vise à évaluer la qualité microbiologique des espèces de poisson frais d'eau douce du Mali vendues au marché de Médina Coura, par la détermination de la flore bactérienne présente sur le poisson permettant d'altérer la qualité sanitaire et marchande de cette denrée.

II. MATERIEL ET METHODES

1.1.1. Echantillonnage

Les espèces de poisson frais d'eau douce du Mali vendues au marché de Médina Coura ont été inventoriées et les poissons les plus prisés et d'intérêt économique rencontrés ont été retenus. Par espèce, un à deux individus de poids corporel compris entre 200g et 1kg a été prélevé. Les échantillons ont été

prélevés dans du papier aluminium, conditionnés dans une glacière contenant de la glace et acheminés directement au laboratoire où ils ont été traités immédiatement. Par espèce, un échantillon composé de peau, de chair, d'intestins et de branchies a été prélevé.

La qualité microbiologique de ces poissons a été déterminée par la recherche et le dénombrement des germes totaux, les coliformes thermotolérants, les anaérobies sulfito-réducteur et les staphylocoques présumés pathogènes.

Préparation de la solution mère

Dès l'arrivée des échantillons au laboratoire, 25 g ont été prélevés sur chaque individu au niveau de la peau, de la chair, des intestins et des branchies à l'aide de ciseaux et couteau stérilisés au préalable, broyés aseptiquement et homogénéisés dans un flacon contenant 225 ml d'eau peptonnée tamponnée. La solution obtenue est appelée suspension mère. Des dilutions décimales successives ont été réalisées en prélevant 1ml de la suspension et mis dans 9ml d'eau peptonnée jusqu'à l'obtention de la dilution 10^{-5} . Les manipulations ont été effectuées dans des conditions stériles sous une hotte à flux laminaire de type II munie de lampe UV.

III. Recherche et dénombrement de la flore mésophile aérobie totale (FAMT)

Le milieu Plate Count Agar (PCA) a été utilisé pour le dénombrement de cette flore. Un 1 ml de suspension mère ou d'une de ses dilutions décimales a été transféré aseptiquement dans les boîtes de Pétri stériles. Le milieu PCA refroidi au bain-marie à 50°C, a été ajouté à l'inoculum à raison de 15 ml par boîte. Le mélange a été homogénéisé par des mouvements rotatifs. Après solidification, une deuxième couche de 7 ml de PCA a été ajoutée pour limiter la contamination. Les boîtes ont été ensuite incubées à l'étuve de 37°C pendant 24 heures. Toutes les colonies ayant poussées entre les deux couches ont été dénombrées à l'aide d'un compteur de colonies muni d'une loupe. Les boîtes contenant 30 à 300 colonies ont été retenues pour le dénombrement.

IV. Recherche et dénombrement des coliformes fécaux ou thermotolérants

La culture a été faite sur gélose au cristal violet, au rouge neutre à la bile et au lactose (VRBL) comme précédemment par la méthode de la double couche. Le milieu a été refroidi au bain-marie à 50°C. De la dilution 10^{-1} , 1 ml a été introduit dans une boîte de Pétri auquel la gélose VRBL a été ajoutée. Après solidification, une deuxième couche est coulée en surface comme précédemment. L'incubation a été faite à 44°C pendant 24 heures. Seules les colonies bien rouges de diamètre supérieur à 0,5 mm et poussées en profondeur ont été dénombrées.

V. Recherche et dénombrement des anaérobies sulfito-réducteurs ASR

La gélose Tryptone Sulfite Néomycine (TSN) a été utilisée pour le dénombrement des anaérobies sulfito-réducteurs. Une quantité de la suspension mère a été bouillie pour éliminer les formes végétatives. 1 ml de la dilution 10^{-1} provenant de cette suspension bouillie a été étalé dans les boîtes de Pétri contenant la gélose TSN préalablement coulée. L'incubation a été faite à 37°C pendant 48 heures dans des jarres anaérobies. Les colonies noires volumineuses ont été retenues.

VI. Recherche et dénombrement des staphylocoques présumés pathogènes

La gélose Chapman fondue, refroidie a été coulée dans une boîte de Pétri. Après solidification, 0,1 ml de la dilution 10^{-1} a été étalé sur toute la surface de la boîte et incubé à 37°C pendant 24 heures. Les colonies jaunes, brillantes, bombées ont été dénombrées.

VII. Recherche des salmonelles

La recherche des Salmonella a été réalisée les étapes essentielles à savoir: le préenrichissement, l'enrichissement, l'isolement et la confirmation.

Pré enrichissement: Chaque prise d'essai (25g) a été mise à homogénéiser dans un sachet stomacher contenant 225 ml d'eau peptonnée tamponnée; la suspension mère obtenue a été incubée à 37°C pendant 24h.

Enrichissement: A l'aide de pipettes (P1000), 1 ml de la suspension pré enrichie a été prélevée et ajouté à 10 ml de bouillon sélénite cystine(SC). Ces tubes ont été incubés à 37°C pendant 48 h.

Isolement: Par la technique des stries d'épuisement, chaque culture d'enrichissement a été ensemencée sur la gélose *Salmonella-Shigella* (SS) et les boîtes de Pétri ont été incubées à 37°C pendant 24 h. Les colonies incolores au centre noir sont prises en compte. Les colonies suspectées *Salmonella* spp ont été examinées à l'état frais et après coloration de GRAM.

Caractérisation et identification des isolats de la flore bactérienne

A partir des cultures sur les différents milieux utilisés, des isollements ont été réalisés pour obtenir des isolats en cultures pures. Les isolats obtenus ont été caractérisés par l'utilisation des tests biochimiques. Le test à la catalase et à l'oxydase ainsi que la galerie biochimique Api 20E ont été utilisés pour identifier les types de bactéries.

VIII. RESULTATS

Inventaire des espèces

Parmi les espèces d'intérêt économique recensées par DANSOKO (2012), au total, 20 espèces ont été inventoriées et retenues pour cette étude. Ces espèces de poisson ont été réparties entre 09 familles

qui sont : *Cyprinidae*, *Alestidea*, *Gymnarchidae*, *Mormyridae*, *Osteoglossidae*, *Centropomidae*, *Cichlidae*, *Bagridae*, *Mochokidae*.

Nombre de bactéries par échantillon

Le nombre de bactéries rencontré sur les espèces a été déterminé. Sur chaque échantillon retenu, la flore totale, les entérobactéries, les anaérobies sulfito-réducteurs, les salmonelles et les staphylocoques ont été dénombrés. Le tableau I présente le nom scientifique et le nom Bambara des espèces inventoriées et leur concentration des espèces en bactéries.

Il apparaît que la concentration de bactéries varie d'une espèce de poisson à une autre. La concentration moyenne en flore aérobie mésophile totale est de $6,4165.10^6$ UFC/g de poissons, en coliformes fécaux ou thermotolérants est de $19,8242.10^4$ UFC/g de poissons, en anaérobies Sulfito-Réducteurs : $165,045.10^3$ UFC/g de poissons et en staphylocoques présumés pathogènes $477,5.10^4$ UFC/g de poissons.

La concentration de la FAMT dans 95% des poissons frais d'eau vendu a dépassé largement la valeur limite acceptable et seulement 5% sont conformes à la norme (Figure1). Tous les échantillons de poisson analysés ont une concentration de coliformes fécaux, et de staphylocoques supérieurs à la norme donc non conformes. Par contre, 50% de ces poissons ne contiennent pas de spores d'Anaérobies Sulfito-Réducteurs contre seulement 25% qui contenaient de salmonelles.

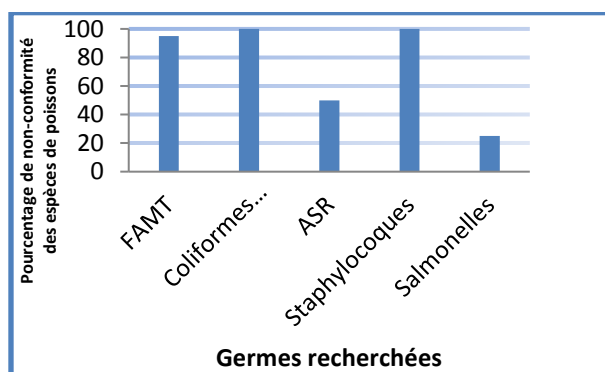


Figure 1: Graphique montrant le pourcentage de non-conformité des échantillons de poisson en fonction des types de bactéries.

Caractérisation et identification biochimiques des isolats de la flore microbienne des espèces de poissons

Les résultats ont montré que la flore bactérienne des poissons du marché de Médina coura était très dense et très diversifiée et cela en fonction de l'espèce. Au total 80 isolats ont été analysés provenant de différentes espèces de poissons. Trois types bactériens ont été observés pour l'ensemble des isolats constitués de 65% de bacilles ; 25% de coques et 10% de coccobacilles. L'observation

microscopique à l'état frais a montré que 79% des bactéries étaient mobiles et 21 % immobiles. Parmi les 80 isolats soumis au test à la catalase et à l'oxydase, 100% étaient catalase positive (+), 51% oxydase positive (+).

Tableau I: Concentration de bactéries dans les de poisson frais d'eau douce du Mali vendues au marché de Médina Courra

Espèce de poisson	FAMT (10 ⁶ UFC/g P)	Entéro (10 ⁴ UFC/g P)	ARS (10 ³ UFC/g P)	Staph (10 ⁴ UFC/g P)	Salm
<i>Mormyrus rume</i>	19,2	10	0	70	Abs
<i>Hyperopisus bebe</i>	0,4	2,2	0	28	Prés
<i>Gymnarchus niloticus</i>	0,5	8	0	35	Abs
<i>Auchenoglanis occidentalis</i>	3,8	280	0	36	Abs
<i>Clarias anguillaris</i>	2,46	0,68	720	0,6	Abs
<i>Heterobranchius bidorsalis</i>	0,75	0,01	0	0,5	Abs
<i>Synodontis schall</i>	0,72	0,27	0	0,6	Prés
<i>Chrysichthys nigrodigitatus</i>	3	0,58	0	0,2	Abs
<i>Bagrus bajad</i>	0,85	1,05	0	0,07	Abs
<i>Bagrus docmak</i>	0,64	0,46	0	0,11	Abs
<i>Clarotes laticeps</i>	0,07	2,28	1,8	3,9	Abs
<i>Labeo coubie</i>	0,14	2,8	0	0,22	Abs
Moyenne	6,416	19,824	165,045	477,46	-
Normes	10⁵ UFC / g	10 UFC / g	10 UFC / g	10² UFC / g	absence dans 25g

FAMT: Flore Aérobie Mésophile Totale

Entero: Entérobactéries

ASR: Anaérobies Sulfito Réducteurs

Staph : Staphylocoques

Salm : Salmonelles

UFC /g: Unité Formant Colonie

Les bactéries isolées ont été identifiées. Au total, 80 isolats ont été identifiés et repartis entre 20 espèces de bactéries (Fig.3). Ces 20 espèces de bactéries ont été réparties entre 13 genres et cinq familles. La flore bactérienne de ces poissons apparaît essentiellement composée des espèces de la famille des *Enterobacteriaceae* (51%) suivi de la famille des *Aeromonadaceae* (23%), puis celle de la famille des *Pseudomonadaceae* (19%), de la famille des *Moraxellaceae* (6%) et 1% de la famille des *Vibrionaceae* (Fig. 2).

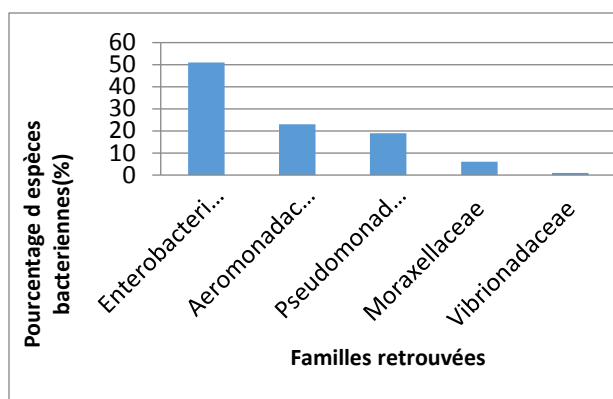


Figure 2 : Graphique montrant la répartition en pourcentage des différentes familles

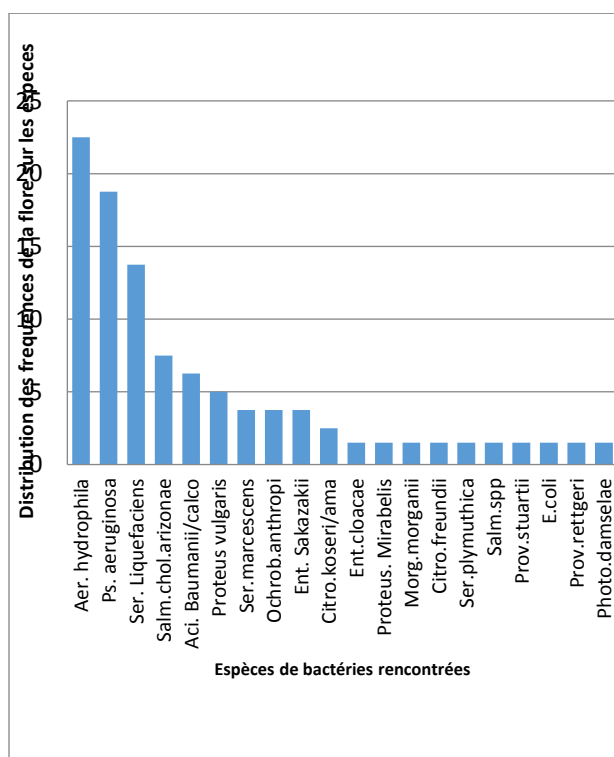


Figure 3 : Graphique montrant la distribution des fréquences de la flore bactérienne sur les espèces de poisson.

IV. DISCUSSION

La diversité microbienne des poissons d'intérêt économique vendus sur le marché de Médina Coura a été étudiée en déterminant la flore microbienne des poissons. Au total, 20 échantillons de poisson d'intérêt économique ont été retenus pour les analyses. La flore retrouvée est diversifiée et variable en fonction des espèces. La moyenne générale est de $6,4 \times 10^6$ FAMT par gramme de poisson. Cette moyenne est largement supérieure à celle obtenue par Dione (2003) qui est de $5,26 \times 10^8$ germes par gramme de poisson et Thiam (1993) qui a obtenu $3,4 \times 10^8$ germes par gramme de poisson. Le nombre de FAMT chez toutes les espèces de poisson dépasse largement la norme à l'exception de *Clarotes laticeps*. Le nombre de FAMT permet

d'apprécier la charge microbienne du produit. Le fort taux de contamination s'expliquerait par l'insalubrité des lieux de vente, de la manutention et par la rupture de la chaîne de froid puisque les poissons sont exposés au marché de Médina à même le sol et souvent sans glace. Les congélateurs utilisés comme conteneurs ont dans la majorité des cas perdus leurs isolations internes et externes et leurs parois sont recouvertes de rouille, sur lesquelles des sacs usés sont déposés pour empêcher leurs contacts avec les produits et aussi empêcher la fuite du froid produit par la glace.

Selon les normes françaises relatives aux poissons frais, 95% de ces poissons sont non conformes. La concentration élevée de la flore est à l'origine d'altération de la qualité marchande du produit pouvant se traduire par la réduction de la durée de vie du produit créant ainsi un manque à gagner considérable pour l'opérateur.

Les résultats montrent que 100% des échantillons ont un taux de contamination supérieur à la norme qui est de 10 coliformes par gramme du produit. Ce pourcentage de conformité est supérieur à celle trouvée par Dionne (2003) qui était de 43% des échantillons et par Thiam (1993) qui était de 57% des échantillons.

Nos résultats montrent que 100% des échantillons sont non conformes. Il faut attribuer la présence de ces coliformes à un manque d'hygiène du personnel. En effet, les vendeuses peuvent constituer le principal réservoir de coliformes fécaux qui sont des hôtes normaux du tube digestif (Diagne, 2002).

La moyenne générale est de $165,045 \times 10^3$ UFC/g de poisson. Cette moyenne est supérieure à la moyenne obtenue par Dione (2003) qui a obtenu 48,94 germes par gramme et par Thiam (1993) qui était de 43,26 germes/gramme.

Les résultats montrent que 50% des échantillons ont un taux de contamination supérieur à la norme qui est de 10 UFC par gramme du produit. Ce résultat s'expliquerait par la méthode de vente de ces poissons qui sont étalés sur des nattes, favorisant ainsi le contact du poisson avec le sol. Ceci est conforme aux résultats obtenus par Dione (2003) qui a trouvé que la boue, le sol, les matières fécales, les récipients et équipements souillés sont les principales sources de contamination du poisson par les ASR.

Toutes les espèces ont un taux de contamination supérieur à 100 germes par gramme de produit. Ce pourcentage est supérieur à celui obtenu par DIONE (2003) qui était de 79% et de Thiam (1993) qui a obtenu 90%. Cette contamination proviendrait des travailleurs qui manipulent le produit, des animaux errants, mais également de l'environnement. Ils altèrent la qualité sanitaire du produit en produisant une entérotoxine qui n'est pas complètement inactivée par la cuisson normale des aliments et dont l'ingestion entraîne une intoxication caractérisée par

des nausées, crampes abdominales, diarrhées et / ou vomissements.

La recherche des salmonelles dans 25g de poissons frais a montré qu'elles sont présentes dans 25% des poissons. Cette fréquence de contamination est largement supérieure à celui de DIONE (2003) qui a obtenu 10%. Selon Dione (2003), ce germe est commun aux espèces animales et peut contaminer les produits de pêche par le biais des instruments souillés, des travailleurs malades ou porteurs sains, des insectes et autres animaux, et de l'eau polluée par les eaux usées. Il est responsable de l'altération de la qualité sanitaire et marchande du produit et peut occasionner une gastro-entérite, une septicémie et la fièvre typhoïde.

La flore bactérienne des poissons vendus sur le marché de Médina Coura, présente une grande diversité. Elle renferme des bacilles (65%), des coques (25%) et des coccobacilles (10%). Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Fané (2011) qui a trouvé que les bactéries à Gram négatif prédominaient et représentaient 61% contre 39% pour les bactéries à Gram positif. Le pourcentage des bactéries à Gram négatif dans cette étude est plus élevé que celui obtenu par Fané (2011). Cette différence s'expliquerait par le temps qui a séparé la capture et l'échantillonnage du poisson (au moins 24h) alors de l'étude de Fané (2011) qui a porté sur des échantillons fraîchement pêchés.

Le nombre d'isolats obtenus (80) est inférieur à celui rapporté par FANE (2011) qui était de 106 isolats. Ceci s'expliquerait par le fait que nous avons travaillé sur 20 espèces de poisson vendus sur le marché de Médina Coura, contre 38 espèces de poissons d'eau des rivières du Sud au Mali utilisés par Fané (2011).

L'identification des isolats a montré que la flore bactérienne renfermait 5 familles (*Pseudomonadaceae*, *Aeromonadaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Vibrionaceae* et *Moraxellaceae*). Par contre Fané (2011) a retrouvé 3 familles, les *Pseudomonadaceae*, les *Enterobacteriaceae* et les *Bacillaceae*. La diversité de familles dans cette étude peut s'expliquer d'une part par le fait qu'à la flore autochtone des poissons fraîchement pêchés s'ajoute la flore de contamination, et d'autre part à l'amplification de ces flores au cours du temps écoulé entre la capture des poissons et le prélèvement des échantillons pour l'analyse au laboratoire. Elle peut être due aussi à l'origine diverse des poissons Fané (2011) ayant travaillé sur des poissons de rivières de partie Sud du Mali.

V. CONCLUSION

Les résultats ont montré que parmi les poissons frais d'eau douce vendus au marché de Médina Coura, 20 espèces de poisson d'intérêt économique ont été retrouvées.

L'analyse microbiologique a montré que les poissons frais d'eau douce vendus sur le marché de

Médina Coura contiennent une concentration anormalement élevée de Flore Aérobie Mésophile Totale (FAMT); de coliformes thermotolérants; des staphylocoques; de bactéries anaérobies sulfitoréductrices; et de salmonelles.

La flore bactérienne des poissons d'eau douce présente une grande diversité et est composée des familles de : *Pseudomonadaceae*, *Aeromonadaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Vibrionaceae* et *Moraxellaceae*.

Au marché de Médina Coura, les poissons frais d'eau sont vendus dans des conditions favorisant une charge de contaminants microbiens considérables et une fréquence de contamination.

Cette étude sur l'analyse de la qualité microbiologique des poissons d'eau douce sur le marché de Médina Coura montre qu'il reste beaucoup à faire pour obtenir une vision d'ensemble de cet écosystème et constituer une contribution importante à la connaissance de la flore bactérienne des poissons vendus sur le Marché de Médina Coura.

REFERENCES

- [1] AFNOR., 2004. (Association Française de Normalisation) Analyse microbiologique: méthodes horizontales Paris : Association Française de Normalisation (AFNOR) :1 ,521 pages.
- [2] Anihouvi VB, Hounhouigan JD, Ayernor GS, 2005. La production et la commercialisation du Lanhouin, un condiment à base de poisson fermenté du golfe de Benin cahiers Agriculture, 14(3) :23-330).
- [3] Bourgeois C.M. et Leveau J.Y., 1991. Techniques d'analyse et de contrôle dans les industries agroalimentaires. Vol 3: le contrôle microbiologique.- 2^{ème} éd. Paris : Lavoisier. Tech. Doc.-454p.
- [4] Diagne A., 2002. Dénombrement des coliformes thermotolérants dans les filets de sole: étude comparative des méthodes d'analyse et des résultats de deux laboratoires. Sénégal. Mémoire de DEA de productions animales à l'Ecole Inter états de science de de médecine vétérinaire EISMV de Dakar.N°7, 30p.
- [5] Dione B., 2003. Etude de la qualité microbiologique et chimique du poisson braisé et séché au Sénégal. Mémoire de DEA de production animale à l'Ecole Inter états de science de de médecine vétérinaire EISMV de Dakar. N°1, 30p.
- [6] DRPD., 2010. Rapport Direction Régionale de la Pêche du District. Caractéristiques des mareyeurs du Marché Dossolo Traoré de Médina Coura.15p.

- [7] Fané R., 2011. Diversité de la flore microbienne des poissons et des eaux des rivières du Sud au Mali. Mémoire de DEA de science appliquée, Faculté des Sciences et Techniques FAST. 39p.
- [8] FAO, 2007. Profil de la pêche par pays. République Malienne, 34p. <http://www.fao.org/>.
- [9] FAO, 2000: United nations Food and Agriculture Organisation. FAO Yearbook. Fishery statistics capture production. Vol : 86, 1, 1998, pp .99-100.
- [10] Konaré, 1974. Cours de formation des moniteurs de pêche de l'Opération Pêche de Mopti.
- [11] PADEPECHE-Mopti, 2008. Rapport annuel des activités du projet. 12p.
- [12] Thiam A., 1983. Contribution à l'étude de l'utilisation du froid dans la consommation des produits de la pêche au Sénégal. Thèse de méd. Vét., Dakar. Ecole Inter états de science de de médecine vétérinaire EISMV. , N° 16.30p.
- [13] Thiam A. A., 1993. Contribution à l'étude de la qualité microbiologique et chimique du poisson braisé séché(Ketiakh) commercialisé sur le marché Dakarois. Thèse de méd. Vét., Dakar, Ecole Inter états de science de de médecine vétérinaire EISMV.N°16.85p.
- [14] Traoré N M., 2014. Abondance et importance des espèces de poissons frais du Mali vendues au marché de Médina Coura. Mémoire de DEA. Option Population Environnement Gestion Durable des Ressources Naturelles. Institut Supérieur de Formation et de Recherche Appliquée ISFRA. 111p.

Alimentation in ovo des embryons de canards avec les hydrates de carbone et l'arginine sur la croissance postnatale chez le canard

Moussa TANGARA¹, Boubacar DEMBELE¹, Wei CHEN,² Jia XU² et Jian PENG²

¹ Laboratoire de Nutrition Animale et d'Agrostologie, Département des Sciences et Techniques d'Elevage, Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou.

² Laboratoire de Nutrition Moléculaire, Collège des Sciences Animales et de la Technologie, Université d'Agriculture de Huazhong.

Email de correspondance : moussatangara2000@yahoo.fr

RESUME : Dans le but de déterminer l'effet de l'alimentation in ovo avec les hydrates de carbone et l'arginine sur le potentiel de croissance postnatale chez les canards, une étude a été entreprise au laboratoire de nutrition moléculaire. Une expérimentation animale a été effectuée sur 800 œufs, repartis en cinq groupes de 160 œufs chacun et assignés à un des cinq traitements suivants: 1) contrôle; 2) chlorure de sodium; 3) hydrates de carbone (CHO); 4) arginine (Arg); 5) (CHO+Arg). Au 23^e jour de l'incubation chaque groupe d'œufs après mirage a été injecté avec 1,2 ml de solutions nutritives. Les œufs ont été incubés conformément à la réglementation en expérimentation animale de l'Université d'Agriculture de Huazhong. Tous les canetons ont été entretenus dans les conditions environnementales favorables, bénéficiant de l'eau et des aliments ad libitum, formulés pour satisfaire leurs besoins nutritifs selon les indications de NY/T33-2004. Les poids vifs ont été déterminés individuellement à l'éclosion, puis aux âges de 3, 7, 14, 21, 28 et 35 jours après éclosion. Les données ont été analysées par ANOVA (SAS, 1996). En terme de croissance, le poids vif a été amélioré de 5,46 ; 8,55 ; 11,50 et 10,67% ($P < 0,05$) au niveau des traitements alimentés in ovo, respectivement à l'éclosion, aux 7^e, 14^e, 21^e et 28^e jours, respectivement en comparaison avec le contrôle. Ces résultats suggèrent que la technologie de l'alimentation in ovo peut être une stratégie potentielle pour la promotion rapide des performances de la croissance périnatale chez les canetons.

Mots-clés: Alimentation in ovo; embryon ; poids vif ; croissance ; canard.

I. INTRODUCTION

L'industrie du canard présente une expansion considérable dans le domaine des productions animales. Les avancées de la recherche en nutrition moléculaire animale sont le facteur majeur qui a contribué à cette remarquable intensification de la production mondiale de canard [10].

Une large littérature s'est dès lors intéressée à la performance de croissance chez la volaille qui est considérée comme le premier indicateur pour prédire les besoins nutritionnels, contribuant donc pour l'estimation du potentiel génétique de la volaille [16; 10 ; 21].

Les résultats de certaines expériences ont indiqué que le poussin peut atteindre un poids remarquable de 35 à 49 jours post-éclosion à travers l'alimentation post natale assurée pendant les toutes premières heures après éclosion [5]. Dans la production moderne du canard, le gain de poids apparaît être l'indice pratique utilisé pour estimer approximativement la progression de la croissance [22; 20]. De plus, le gain de poids vif peut être considéré comme un important paramètre de production, révélant les perspectives de croissance chez la volaille néonatale [22 ; 10 ; 21].

Aujourd'hui, avec la demande croissante pour les produits et les sous produits du canard dans le monde

[2], le plus important défi de la production de chair de canard devient l'amélioration de la performance du potentiel de croissance dans un délai court (approximativement 6 à 7 semaines) en augmentant le gain de poids quotidien chez les canetons [21].

Une étude menée par [10] a trouvé que le poids du caneton à l'éclosion a une corrélation positive avec la croissance pendant les deux premières semaines. C'est donc surtout durant la période d'alimentation embryonnaire, qu'il convient d'éviter le déficit nutritionnel. Cela suggère aussi que la nutrition périnatale des oiseaux de chair peut être un facteur d'importance fondamentale pour déterminer leur potentiel de croissance.

Par ailleurs, les recherches menées par [21] et

[4] ont suggéré que la supplémentation in ovo avec les solutions nutritives contenant des hydrates de carbone et des acides aminés au 17^e et au 22^e jours d'incubation a amélioré le poids vif des poussins et des dindonneaux en réduisant toute la probabilité de production de glucose à partir des réserves de protéine du muscle via la néoglucogenèse du foie.

La consommation du glucose ou des substrats énergétiques à partir des nutriments exogènes peut aider à réduire la mobilisation des protéines squelettiques pour la néoglucogenèse durant la

dernière phase de la croissance embryonnaire et par conséquent augmenter le poids vif [7 ; 8].

Le saccharose et le maltose sont des sucres qui sont facilement assimilés et utilisés comme sources essentielles d'énergie rapide pour l'entretien de l'organisme [15 ; 1 ; 20].

L'arginine est un acide aminé qui peut aider à améliorer le métabolisme énergétique des substrats tels que les acides gras, le glucose et les acides aminés [6].

Il est apparent que la croissance périnatale chez la volaille peut être associée avec le statut nutritionnel, qui probablement stimule et soutient le gain de poids durant les premiers jours après éclosion (environ 7 et 14 jours d'âge).

Cette étude a été conduite afin de déterminer les effets de l'alimentation des hydrates de carbone et de l'arginine sur le gain de poids chez les canetons du jour d'éclosion à 35 jours d'âge.

II. MATERIEL ET METHODES

Toutes les expériences présentées dans cette étude ont fait l'objet d'un examen auprès du comité d'éthique en matière d'expérimentation animale du collège des sciences animales de l'Université d'Agriculture de Huazhong conformément aux lignes directrices établies par le conseil Chinois de protection des animaux.

2.1 Site et dispositif expérimental

L'étude a été conduite dans le laboratoire de nutrition moléculaire de l'Université d'Agriculture de Huazhong. Les solutions nutritives ont été formulées pour contenir des hydrates de carbone (saccharose et maltose) et l'arginine. L'impact des solutions nutritives sur le gain de poids chez les canetons a été évalué relativement aux traitements NaCl et contrôle.

2.2 Principe de l'alimentation in ovo

Le principe repose sur l'administration de nutriments directement dans l'œuf à couvrir. L'incubation et la phase néonatale correspondent à près de 50 % de la vie d'une volaille. Il faut donc agir au plus tôt pour faciliter le développement du système digestif.

Cela passe par une bonne maîtrise des conditions d'incubation et un apport nutritionnel adapté. La solution nutritive est composée de nutriments (sucres, protéines, sel et eau) qui doivent être préalablement irradiés pour éviter tout risque de contamination.

La solution nutritive est injectée dans le liquide amniotique vers 23 jours d'incubation, au moment où l'embryon du canard commence à l'ingérer. Selon certaines études antérieures, le jour de l'éclosion, les villosités intestinales des nouveaux nés nourris in ovo sont plus longues que celles de ceux non nourris in ovo [20 ; 21]. Il a été constaté que la nutrition in ovo augmente les réserves de glycogènes hépatiques et musculaires et améliore la capacité digestive du nouveau né. De plus, le gain de poids est supérieur

durant la première semaine de vie. En fin d'élevage, l'indice de consommation diminue sensiblement [20].

2.3 Procédures de l'alimentation in ovo

Les oeufs de canards ont été incubés pendant 28 jours dans les conditions normales d'hygiène. Au 22^e jour de l'incubation, 800 oeufs avec les embryons viables ont été pesés et identifiés par numéro individuel. Tous les oeufs ont été repartis en cinq groupes de 160 oeufs chacun avec un poids moyen de 80, 10g. Les traitements expérimentaux étaient les suivants: 1) le traitement contrôle ;2) 0,38% chlorure de sodium (NaCl); 3) 2,5% saccharose + 2,5% maltose (CHO); 4) 0,12% arginine (Arg) et 5) 2,5% saccharose + 2,5% maltose + 0,12% arginine (CHO + Arg). Toutes les solutions nutritives ont été préparées dans la solution stérilisée de 0,38% de NaCl. Au 23^e jour de l'incubation, après le mirage des oeufs pour visualiser l'amnion, la place appropriée pour l'injection a été choisie et désinfectée avec une solution de 75% d'alcool éthylique tout juste avant l'injection des solutions nutritives. Les oeufs ont été injectés manuellement avec 1,2 ml de solution nutritive dans le liquide amniotique en utilisant une seringue de 5 ml. Aussitôt après l'injection, l'ouverture servant de voie physiologique a été fermée avec de la paraffine. Tous les oeufs alimentés in ovo et ceux du traitement contrôle ont été placés dans les paniers d'éclosion jusqu'au 28^e jour, le jour d'éclosion.

2.4 Elevage des canetons

Après éclosion, tous les canetons ont été comptés, pesés et entretenus dans les conditions environnementales favorables, bénéficiant de l'eau et des aliments ad libitum, formulés pour satisfaire leurs besoins nutritifs selon les indications de [13 ; 14].

2.5 Procédure de détermination du poids vif

Un total de 654 de canetons nouveaux nés et adultes ont été utilisés. La durée totale de l'étude sur les canetons en croissance et les canards adultes était de 35 jours.

Les échantillons de canetons et de canards adultes ont été individuellement pesés dans chaque traitement et le poids vif a été enregistré. Après la pesée, les oiseaux retournaient dans la loge pour les pesées subséquentes.

Les oiseaux ont été pesés en grammes pour chaque caneton en bonne santé du jour d'éclosion à 35 jours d'âge en utilisant la balance électronique HANG PING JY 4001. Les pesées expérimentales ont été conduites à l'éclosion (n = 654), 3 jours d'âge (654), 7 jours d'âge (654), 14 jours d'âge (654), 21 jours d'âge (654), 28 jours d'âge (654) et 35 jours d'âge (654 adultes canards).

2.6. Analyse statistique

Les effets des solutions nutritives ont été évalués relativement aux différents traitements. Les données

ont été analysées par ANOVA (Analyse de Variance) avec le logiciel [17]. L'effet des traitements sur les paramètres étudiés a été considéré significatif quand la probabilité (P) est inférieure à 5% ($P < 0,05$).

III. RESULTATS

Les données collectées au cours des investigations sont consignées dans le tableau. L'analyse des données a révélé que l'alimentation in ovo avec les solutions nutritives CHO, Arg et CHO + Arg a augmenté de façon significative ($P < 0,01$) le poids vif des canetons de 3,96%, 5,46% et 4,73%, comparées au contrôle, pendant que les canetons issus de l'alimentation in ovo avec le CHO étaient moins lourds de 1,95% que ceux issus de l'alimentation in ovo avec du NaCl (Tableau).

Les résultats ont montré une possible amélioration du poids vif par chacune des solutions nutritives. De plus, ces résultats indiquent que les embryons de canard ont été sensibles à la consommation de la solution nutritive contenant le NaCl.

A 3 jours d'âge, l'alimentation in ovo avec les CHO a significativement augmenté ($P < 0,05$) le poids vif de 9,17% et de 8,55% comparé au contrôle et au traitement NaCl, respectivement.

A 7 jours d'âge, l'alimentation in ovo avec les solutions nutritives CHO, Arg et CHO+Arg a augmenté le poids vif de 11,50 ; 12,53 et 9,87% relativement au contrôle, respectivement ($P < 0,01$). Additionnellement, l'alimentation in ovo avec du NaCl a amélioré le poids vif de 6,03% et 9,77% en comparaison avec le contrôle à l'éclosion et à 7 jours d'âge, respectivement ($P < 0,01$).

A 14 jours d'âge, tous les canetons issus de l'alimentation in ovo pesaient lourds ($P = 0,014$) que ceux du contrôle, indiquant que la capacité de toutes les solutions nutritives de soutenir le gain de poids chez les canetons en croissance durant deux semaines de vie.

A 21 jours d'âge, l'alimentation in ovo avec CHO+Arg a considérablement augmenté ($P < 0,01$) le poids vif de 6,62% en comparaison avec le contrôle, et de 5,90% comparé au traitement NaCl, respectivement.

A 28 jours d'âge, l'alimentation in ovo avec CHO seul et CHO + Arg a significativement ($P = 0,0421$) amélioré le poids vif des canards juvéniles de 2,37% et de 10,67%, respectivement.

Contrairement, le poids vif n'a pas différé statistiquement chez tous les canards adultes de tous les traitements à 35 jours. Collectivement, ces résultats suggèrent que les bénéfices de l'alimentation in ovo sur la croissance des canetons ont été apparents du jour d'éclosion jusqu'au 14^{ème} jour, mais cet avantage s'est lentement stabilisé après deux semaines jusqu'à 35 jours d'âge.

Tableau : Effets de l'alimentation in ovo du NaCl, CHO, Arg et CHO + Arg sur le poids vif des canetons et canards adultes à l'éclosion, au 3^e, 7^e, 14^e, 21^e, 28^e et 35^e jours de vie¹.

Age	Traitements ²					P-Value
	Contrôle	NaCl	CHO	Arg	CHO+Arg	
	Poids vif (g)					
Jour d'éclosion	49,21 ^c	52,18 ^a	51,16 ^b	51,90 ^{ab}	51,54 ^{ab}	0,31 < 0,001
+3 jours	80,33 ^b	80,79 ^b	87,70 ^a	84,38 ^{ab}	80,82 ^b	1,8 8 0,035
+7 jours	160,34 ^b	175,99 ^a	178,76 ^a	180,44 ^a	176,16 ^a	3,27 0,001
+14 jours	480,30 ^b	482,70 ^a	483,40 ^a	483 ^a	484,30 ^a	0,62 0,001
+21 jours	1117,60 ^b	1118,40 ^b	1119,40 ^b	1117,50 ^b	1125 ^a	0,74 <0,001
+28 jours	1517,50 ^b	1529,10 ^{ab}	1530,10 ^a	1521,60 ^{at}	1533,70 ^a	4,03 0,042
+35 jours	2006,30	2006,02	2007,10	2005,07	2007,20	0,26 0,33

¹ Toutes les données représentent la valeur moyenne $\pm$ ESM de 10 replicatas de canetons et de canards adultes par traitement expérimental.

² ESM = erreur standard moyenne.

a, b, c : Les chiffres de la même ligne suivis de différentes lettres sont différents de 5%.

IV. DISCUSSION

Certains travaux effectués chez la poule et la dinde avaient suggéré que la supplémentation des poussins et des dindonneaux en croissance avec des acides aminés et des hydrates de carbone a favorisé l'augmentation du poids vif à l'éclosion en comparaison avec ceux qui n'ont pas bénéficié la supplémentation pendant la dernière phase de l'incubation [18 ; 21 ; 3]. Au terme d'investigations avancées, une corrélation positive a été trouvée entre le poids vif des poussins et des dindonneaux à 7 jours d'âge et leur âge d'abattage sous l'influence de l'alimentation périnatale [11; 12]. Dans la présente étude, il ressort que le poids vif a augmenté plus chez les canetons alimentés in ovo à l'éclosion. Mieux encore, cette amélioration du poids vif a été maintenue chez tous les oiseaux alimentés in ovo jusqu'à 14 jours d'âge. Cela suggère que l'alimentation in ovo avec le CHO et l'Arg pourrait apporter à l'industrie du canard une méthode supplémentaire pour améliorer le poids des canetons à l'éclosion jusqu'à deux semaines d'âge.

Cet avantage dans le gain de poids vif a été maintenu de façon remarquable jusqu'à trois semaines d'âge. Cependant, les effets de l'alimentation in ovo ont été stables pendant le 21 et 35^{ème} jour d'âge chez les canards adultes, suggérant que l'alimentation in ovo peut être une voie prospective de recherche pour améliorer le gain précoce de poids chez les canetons en croissance à travers l'amélioration du dépôt de réserves énergétiques et protéiques du muscle pectoral nécessaire pour stimuler et soutenir le gain de poids chez les canetons en croissance. La même tendance a été rapportée par [19] qui ont suggéré que pendant le processus d'incubation, le facteur qui impacte les performances de la croissance pré et postnatale peut être le dépôt d'énergie et de protéine dans le muscle chez les poussins.

De plus, une autre observation a été l'amélioration du poids vif chez les canetons alimentés in ovo avec le

NaCl à l'éclosion et au 7^e jour, cela est en convergence avec le point de vue selon lequel la croissance chez les poussins a été facilitée par la supplémentation saline durant la transition de l'alimentation embryonnaire à l'alimentation avec les nutriments exogènes [8].

Ces observations peuvent avoir un effet promoteur et une implication importante dans la production de canard, car certaines études antérieures ont suggéré que le poids vif à l'éclosion peut prédire le poids standard à l'abattage [10].

V. CONCLUSION

Au terme de cette étude, des résultats satisfaisants ont été obtenus. L'alimentation in ovo avec les hydrates de carbone et de l'arginine peut exercer un effet bénéfique sur le processus d'amélioration de la croissance périnatale à travers l'amélioration du gain de poids chez les canetons. Ces résultats suggèrent aussi que la technologie de l'alimentation in ovo peut être une stratégie potentielle pour la promotion de la croissance rapide des canetons. De façon additionnelle, l'alimentation des embryons au 23^e jour d'incubation avec les hydrates de carbone et de l'arginine peut être une opportunité pour promouvoir le poids vif uniforme, qui est important pour l'atteinte des objectifs du marché mondial de la volaille. La plus intéressante étape de cette étude est que les embryons en développement et les canetons ont été dépendants de façon bénéfique des nutriments supplémentés et déposés pour la croissance périnatale jusqu'à la consommation exogène des aliments. Mieux, il serait possible de faire la promotion et la finition de la volaille de chair en améliorant la performance périnatale à travers la technique de l'alimentation in ovo.

REFERENCES

- [1] Christensen, V.L., Donaldson W.E. and Nestor K.E. (1993). Effect of maternal dietary triiodothyronine on embryonic physiology of turkeys. *Poultry Science*, 72: 2316 - 2327.
- [2] Food and Agricultural Organization (FAO). (2007). Prod STAT (Provides statistics): *Livestock (primary and processed)*.
- [3] Foye, O. T., Ferket, P. R. and Uni, Z. (2007). The effects of in ovo feeding arginine, β -hydroxy- β -methyl-butyrate and protein on jejunal digestive and absorptive activity in embryonic and neonatal turkey poults. *Poultry Science*, 86: 343-2349.
- [4] Foye, O.T., Ashwell, C., Uni, Z. and Ferket, P.R. (2009). The effects of Intra-amniotic feeding of arginine and/or β -hydroxy- β -methylbutyrate on jejunal gene expression in the turkey embryo and hatchling. *International Journal of Poultry Science*, 8 (5) : 437- 445.
- [5] Haverstein, G.B., Ferket, P.R., Scheideler, S.E. and Larson, B.T. (1994). Growth, livability and feed conversion of 1957 vs 1991 broilers when fed "typical" 1957 and 1991 broiler diets. *Poultry Science*, 73: 1785-1794.
- [6] Jobgen, W. S., Fried, S.K., Fu, W.J., Meininger, C.J. and Wu, G (2006). Regulatory role for the arginine-nitric oxide pathway in metabolism of energy substrates. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 17: 571- 588.
- [7] John, T M, George, J. C. and Moran, E. T.Jr. (1988). Metabolic changes in pectoral muscle and liver of turkey embryos in relation to hatching: Influence of glucose and antibiotic treatment of eggs. *Poultry Science*, 67: 463-469.
- [8] Keirs, R. W., Peebles, E. D., Hubbard, S. A. and Whitmarsh, S. K. (2002). Effects of supportive gluconeogenic substrates on early performance of broilers under adequate brooding conditions. *Journal Applied Poultry Research*, 11: 367- 372.
- [9] Keirs, R. W., Peebles, E. D., Hubbard, S. A. and Whitmarsh, S. K. (2002). Effects of supportive gluconeogenic substrates on early performance of broilers under adequate brooding conditions. *Journal Applied Poultry Research*, 11: 367-372.
- [10] Knizetova, H., Hyanek, J and Cervený, J. (1992). Egg size and post-hatch growth of Pekin duck. *Arch. Geflügelkd*, 56: 128-131.
- [11] Noy, Y. and Sklan, D. (1998). Metabolism responses to early nutrition. *Journal of Applied Poultry Research*, 7 : 437- 451.
- [12] Noy, Y. and Sklan, D. (1999). Energy utilization in newly hatched chicks. *Poultry Science*, 78: 1750 -1756.
- [13] NRC, (1994). Nutrient Requirement of poultry, 9th revised edition. *National Academy Press*, Washington, DC.
- [14] NY /T33- (2004). China agricultural industry standards-*Poultry rearing standards*.
- [15] Romanoff, A.L. and Romanoff, A.J. (1949). *The Avian Egg*, John Wiley and Sons, New York.
- [16] Smith, M. W, Mitchell, M. A. and Peacock, M. A. (1990). Effects of genetic selection on growth rate and intestinal structure in the domestic fowl (*Gallus domesticus*). *Comparative Biochemistry and Physiology*, 97: 57-63.
- [17] SAS User's Guide. (1996). Version 6, SAS Institute Inc., Cary, North Carolina.

- [18] Tako, E., Ferket, P. R. and Uni, Z. (2004). Effects of in ovo feeding of carbohydrates and β -hydroxy- β -methyl butyrate on the development of chicken intestine. *Poultry Science*, 83: 2023-2028.
- [19] Tesseraud, S., Chagneau, A. M. and Grizard, J. (2000). Muscle protein turnover during early development in chickens divergently selected for growth rate. *Poultry Science*, 79: 1465-1471.
- [20] Uni, Z. and Ferket, P. R. (2003). Enhancement of development of oviparous species by in ovo feeding. *U.S. Patent* No 6, 592: 878 B2.
- [21] Uni, Z., Ferket, P. R., Tako, E. and Kedar, O. (2005). In ovo feeding improves energy status of late-term chicken embryos. *Poultry Science*, 84: 764-770.
- [22] Wilson, J. H. (1991). Bone strength of caged layers as affected by dietary calcium and phosphorus concentrations, reconditioning, and ash content. *British Poultry Science*, 32: 501-508.

Diversité des peuplements planctoniques dans les casiers rizipiscicoles de Baguinéda au Mali

H. KODIO, A. KODIO, D. TIMBELY et T. NIARÉ
Institut d'Economie Rurale, Bamako

Adresse de correspondance: kodiohamidou39@yahoo.fr

RESUME : Le phytoplancton et le zooplancton sont des facteurs biotiques, déterminants essentiels de la chaîne alimentaire dans les écosystèmes aquatiques surtout dans les étangs piscicoles. L'objectif de cette étude est de décrire la composition taxonomique, l'abondance du plancton ainsi que sa variation entre les 12 rizières à poissons recevant trois types de compléments.

L'échantillonnage mensuel a été réalisé à l'aide de filets à plancton de 65 µm de maille pour collecter le phytoplancton et le zooplancton. Les prélèvements ont été réalisés du 1^{er} septembre au 10 décembre 2015 et à chaque fois entre 8 h et 11 h du matin dans 12 casiers rizipiscicoles. Leurs examens qualitatifs et quantitatifs ont été réalisés en s'appuyant sur des travaux antérieurs en milieu tropical. Les analyses ont porté sur l'estimation de l'abondance relative des taxons observés ainsi que les indices de Shannon-Weather et d'Équitabilité de Pielou. Les paramètres physico-chimiques de la qualité des eaux ont également été mesurés bimensuellement. Ces données ont fait l'objet d'une analyse de variance (ANOVA) avec SPSS.

La qualité des eaux des casiers rizipiscicoles présente une variabilité temporelle des paramètres mesurés (température, pH, transparence, conductivité et dioxygène dissous). Ces variations restent toutefois dans le préférendum des espèces élevées sauf pour le dioxygène dissous dont les valeurs traduisent une relative hypoxie. Le phytoplancton est constitué à 75 % de Chlorophyta et d'Euglenophyta. Le zooplancton comporte 10 à 12 taxa selon les traitements. Il est dominé par les rotifères. Malgré une faible diversité biologique et une inégale répartition des espèces, l'abondance relative des genres de phyto et de zooplanctons est relativement plus importante dans les casiers recevant fertilisants organiques et aliments composés (farine basse de riz à 70 % et tourteau de coton à 30 %). Ce qui suggère une influence des apports exogènes dans la diversité spécifique des peuplements de planctons.

Mots clés : rizipisciculture, diversité spécifique, abondance relative, phytoplancton, zooplancton.

I. INTRODUCTION

L'économie du Mali est basée sur l'agriculture, l'élevage et la pêche. Dans le domaine de l'agriculture, le riz occupe une place importante comme produit de consommation y compris dans la plupart des pays de l'Afrique de l'Ouest et aussi en tant que produit d'exportation. Il est à noter que la consommation de poisson au Mali est estimée à environ 10,5 kg par an par habitant alors que celle de la viande est de l'ordre de 7,8 kg par an par habitant (Autorité du Bassin du Niger, 2004), ce qui montre que le poisson est une ressource animale primordiale au Mali.

Les enquêtes réalisées en 1997 pour l'élaboration du Schéma Directeur de la pêche et de l'aquaculture qui a été actualisé en 2006 (DNP, 2006), ont permis d'estimer la production de poissons en rizipisciculture à 1300 tonnes par an (soit 1,3% de la production totale en poisson), ce qui reste faible. La mise en place de techniques améliorées en vue du développement de la rizipisciculture en milieu rural passe par une connaissance parfaite des potentialités intrinsèques des espèces utilisées et des paramètres susceptibles d'influencer leurs différents stades de développement dans ce milieu. Une des composantes des recherches conduites à cet effet est

consacrée à la caractérisation de l'environnement biotique (phytoplancton et zooplancton) dans les rizières piscicoles.

Le plancton est le premier maillon des chaînes alimentaires aquatiques, essentiel à la bonne santé des écosystèmes aquatiques. Son abondance, sa diversité et sa composition dépendent des différents facteurs tels que la température, l'oxygène dissous, la turbidité et la conductivité.

Les phytoplanctons sont des organismes autotrophes capables de réaliser la photosynthèse. Le peuplement de phytoplanctons compte près d'une dizaine de milliers d'espèces recensées dans les eaux douces (Jacquet, 2003) et leur nombre ne cesse d'augmenter vu l'intérêt scientifique de plus en plus accru pour ce monde longtemps mal investigué (Ledreux, 2010).

L'étude du phytoplancton au Mali est encore au stade embryonnaire. Dans le fleuve Niger, les premiers travaux ont été réalisés dans la zone d'inondation du Delta Intérieur du Niger au Sud-Ouest de Tombouctou par Bourrelly (1957). Après, les travaux de Traoré (1974) dans le Farakô (un affluent du Niger à Bamako), Couté et Rousselin (1975) ont étudié des échantillons récoltés entre Ansongo et Mopti. Les études récentes menées sur le fleuve Niger à Bamako par Koné (2011) avaient pour

but d'inventorier le phytoplancton et de faire ressortir ses variations qualitative et quantitative en relation avec les variables physico-chimiques afin de permettre une meilleure compréhension du fonctionnement de cet écosystème aquatique.

Le zooplancton est essentiellement composé de crustacés (copépodes et cladocères) et de rotifères (phylum contenant les plus petits animaux pluricellulaires) d'après Payne (1986). L'étude de cet auteur sur les lacs artificiels de Bagré et de Loumbila (Burkina Faso) a révélé que, de manière générale, le peuplement zooplanctonique est plus abondant en saison des pluies. Les espèces de grandes tailles (cladocères et copépodes) sont rencontrées en période humide et celles de petites tailles (rotifères) en période sèche. Le développement du zooplancton semble être lié aux entrées d'eau qui entraînent un enrichissement des milieux par l'apport de nutriments et de matières en suspension (Ouéda, 2009). Ces organismes planctoniques sont à la base des chaînes alimentaires. Ils déterminent la productivité primaire des écosystèmes aquatiques, notamment les rizières à poissons. L'objectif de cette étude est de décrire la composition taxonomique, l'abondance du plancton

ainsi que sa variation entre les différentes rizières à poissons en tenant compte des aliments distribués.

II. MATERIEL ET METHODES

2.1 Description du milieu d'étude :

Cette recherche a été conduite en partenariat avec l'Office du Périmètre Irrigué de Baguinéda (OPIB) dans sa zone d'intervention. Celle-ci couvre une superficie totale de 22 319 ha dont seulement 4 500 ha (près de 20 %) en zone inondable (Figure 1). Un peu plus de la moitié de cette surface inondable (53 %) est aménagée avec maîtrise totale de l'eau à partir du canal principal de Baguinéda. Ce canal arrose par gravité toute la zone inondable à partir d'une prise d'eau sur le barrage-seuil des Aigrettes. Dans cette zone dévolue par excellence à l'agriculture, la pêche occupe une place importante dans l'économie de la commune. Elle est le fait de quelques pêcheurs et agro-pêcheurs qui exploitent ce périmètre irrigué. En outre, de nombreux villages environnants disposent d'étangs piscicoles. Les surfaces des casiers rizicoles varient d'un secteur à l'autre entre 300 et 1500 m². Le choix des sites est fondé sur une participation volontaire des rizipisciculteurs identifiés lors d'une enquête préliminaire dans la zone.



Figure 1 : Localisation de la zone d'étude sur la carte du Mali

2.2. Méthodes de collecte des données

2.2.1. Echantillonnage des planctons.

L'échantillonnage des paramètres biotiques a été fait une fois par mois dans les 12 rizières piscicoles réparties entre 3 traitements et 4 répétitions par traitement qui sont :

- Traitement (T1), les casiers sont fertilisés seulement avec de la matière organique, constituée de bouse de vache 70% et de la fiente de volaille 30 % ;
- Traitement (T2), en plus de la fertilisation organique, les casiers reçoivent un apport de farine basse, sous produit agricole disponible localement ;

-Traitement (T3), les aliments composés de farine basse et de tourteau de coton dans des proportions respectives de 70 % et 30 % sont distribués aux poissons, en plus de la fertilisation organique des casiers.

L'échantillonnage mensuel a été réalisé à l'aide de filets à plancton de 65 µm de maille pour collecter le phytoplancton et le zooplancton. Ces planctons ont été récoltés par filtrage de 4 litres d'eau. Les prélèvements ont été réalisés du 1^{er} septembre au 10 décembre 2015 et à chaque fois entre 8 h et 11 h du matin. Des échantillons de 5 ml ont été étiquetés, fixés au lugol et conservés dans le réfrigérateur avant l'observation.

L'examen quantitatif et qualitatif a été effectué au microscope de marque KRUSS, après sédimentation des organismes dans les cuves à sédimentation pendant 24 heures. Des montages entre lame et lamelle ont été effectués pour l'observation du plancton. L'identification du phytoplancton et zooplancton a été rendue possible grâce aux ouvrages de Bourelly (1957) sur les algues d'eau douce du Niger au Mali ; Iltis (1980) sur la flore et la faune aquatique de l'Afrique sahélo-soudanienne et Streble et Krauter (1988) sur la microflore et la microfaune des eaux douces.

L'analyse a consisté à dénombrer et à identifier le plancton (phytoplancton et zooplancton) jusqu'au niveau genre dans chaque échantillon. Les genres rencontrés ont été photographiés à l'aide d'un appareil photo-numérique de marque CANON. Le dénombrement et l'identification ont été réalisés sur un sous échantillon de 2 ml placé entre lame et lamelle. Ensuite, par extrapolation, le nombre d'individus dans l'échantillon de 5 ml est estimé.

2.2.2 Mesures de la qualité physico-chimique de l'eau

Les suivis de la qualité de l'eau des casiers rizipiscicoles ont eu lieu régulièrement deux fois par mois (une fois par quinzaine) depuis l'empoissonnement des casiers en août 2015 jusqu'à la pêche finale en décembre 2015. Ils ont porté sur les mesures de la transparence de l'eau (en cm) à l'aide du disque de Secchi. Le Kit de mesure de la qualité de l'eau, PCE-PHD 1, a servi aux relevés de la conductivité (en µS), du pH, de la température de surface (en °C) et du taux de dioxygène dissous (mg/l).

2.3. Méthode d'analyse des données.

Les données écologiques et les paramètres physico-chimiques ont été saisis sur des feuilles Excel 2007

et importées dans le logiciel SPSS pour leur traitement statistique

Les données de peuplement ont ensuite fait l'objet d'analyse de répartition des genres selon les traitements expérimentaux par le calcul des paramètres ci-dessous :

- **Indice de diversité de Shannon –Weaver (1963) :**

L'Indice de diversité de Shannon-Weaver mesure la diversité des peuplements. Il est calculé sur chacune des listes obtenues et a pour expression :

$$H' = \sum_{i=1}^S p_i \cdot \log_2(p_i)$$

H'= Indice de diversité de Shannon- Weaver, i: une espèce du milieu d'étude

p_i : Proportion d'une espèce i par rapport au nombre total d'espèces (S) dans le milieu est donnée par la formule suivante : p_i = n_i /N, où n_i est le nombre d'individus pour l'espèce i et N est l'effectif total de toutes les espèces.

- **Equitabilité (Piélou, 1969) :** Il mesure l'équilibre des peuplements.

Son expression est la suivante :

$$E = H'/H'_{\max}$$

H'= indice de Shannon-Weaver

$$H'_{\max} = \log_2 S$$

S=richesse spécifique

Log₂=logarithme à base 2

Cet indice varie de 0 à 1. Il est maximal pour les individus du peuplement ayant des abondances assez similaires. L'indice tend vers 0 lorsque la quasi-totalité des effectifs du peuplement est concentrée sur un seul individu.

Après une analyse de variance (ANOVA) préliminaire à l'aide du logiciel SPSS qui a révélé l'absence de variations statistiquement significatives de la qualité des eaux selon le traitement, seul le facteur temporel a été analysé avec le même outil statistique.

III. RESULTATS

3.1. Variations temporelles de la qualité physico-chimique des eaux des rizières tests

Les différents paramètres physico-chimiques des eaux des rizières à poissons à Baguinéda présentent une variation temporelle significative (Tableau ? faire un tableau résumé des résultats de l'ANOVA). La température de l'eau des rizières reste comprise entre 25 °C et 30 °C. Toutefois, on observe un léger refroidissement significatif avec l'arrivée de la saison fraîche (Figure 2).

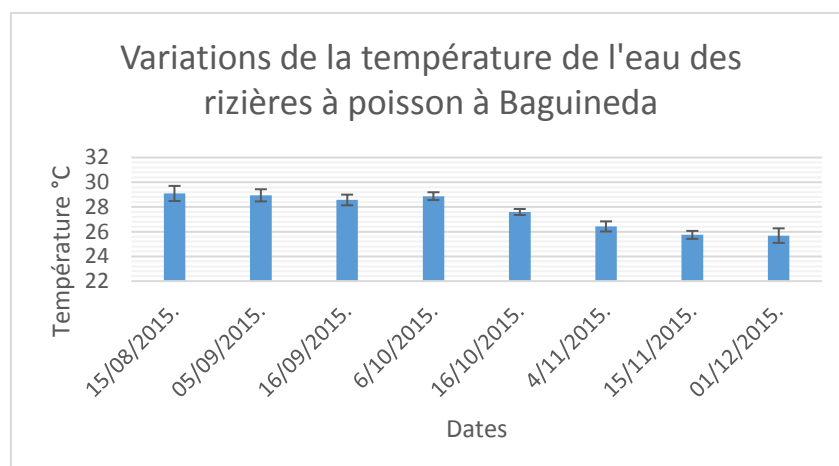


Figure 2: Variation de la température en fonction de la période d'échantillonnage
La conductivité est faible en août et en décembre novembre avec des valeurs supérieures à 120 μ S (Figure 3). Elle reste significativement plus élevée de septembre à

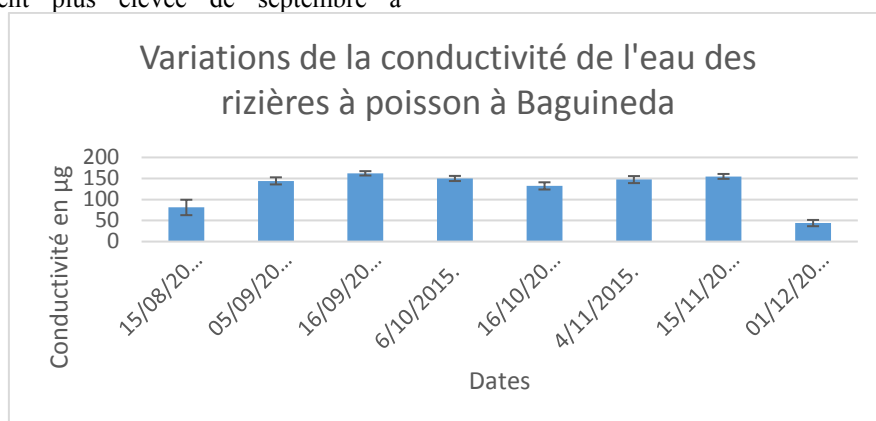


Figure 3: Variation de la conductivité en fonction de la période d'échantillonnage
Les valeurs de pH sont comprises entre 7.76 ± 0.30 et 8.35 ± 0.36 . Le pH des eaux est légèrement alcalin dans les rizières de Baguineda (Figure 4). On peut aussi constater une légère baisse du pH dès la fin de la saison des pluies passant de 8.33 ± 0.24 octobre à 7.76 ± 0.30 en mi-novembre.

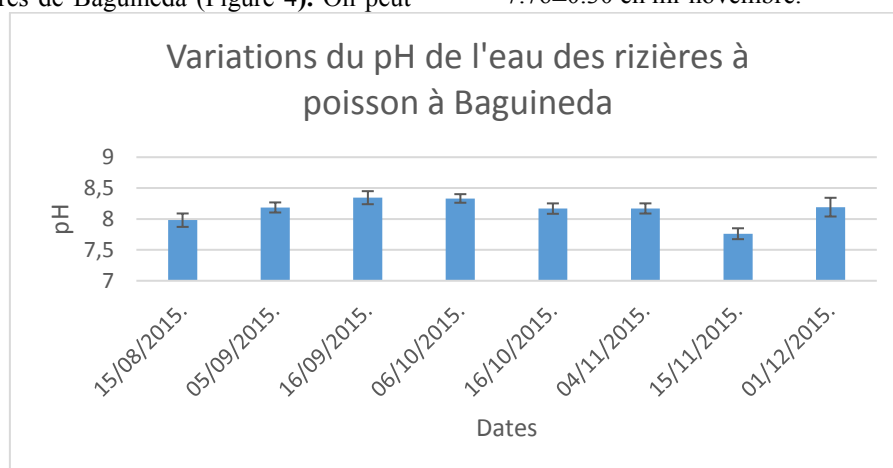


Figure 4: Variation du pH en fonction de la période d'échantillonnage
La figure 5 montre les variations de la transparence au cours de la campagne. Elle oscille entre 0.34 ± 0.11 m et 0.72 ± 0.27 m.

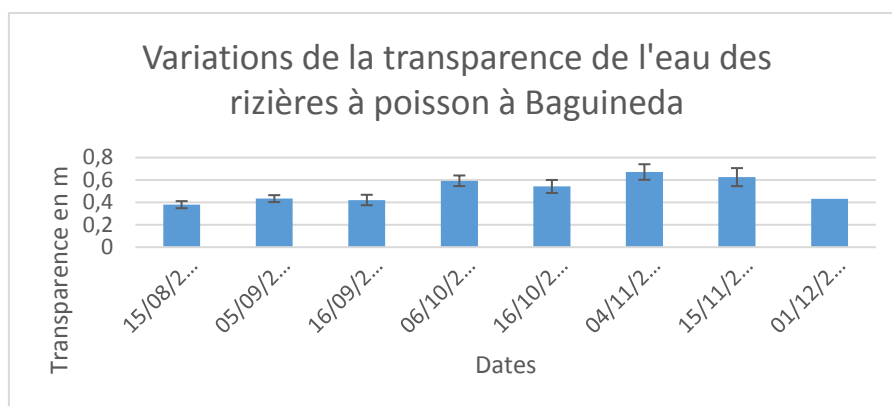


Figure 5 : Variation de la transparence en fonction de la période d'échantillonnage

La teneur en dioxygène dissous est comprise entre 2.01 ± 0.37 et 3.21 ± 2.47 mg/l (Figure 6). Au cours progressive du dioxygène dissous dans les rizières à poissons.

du mois de novembre on observe une baisse

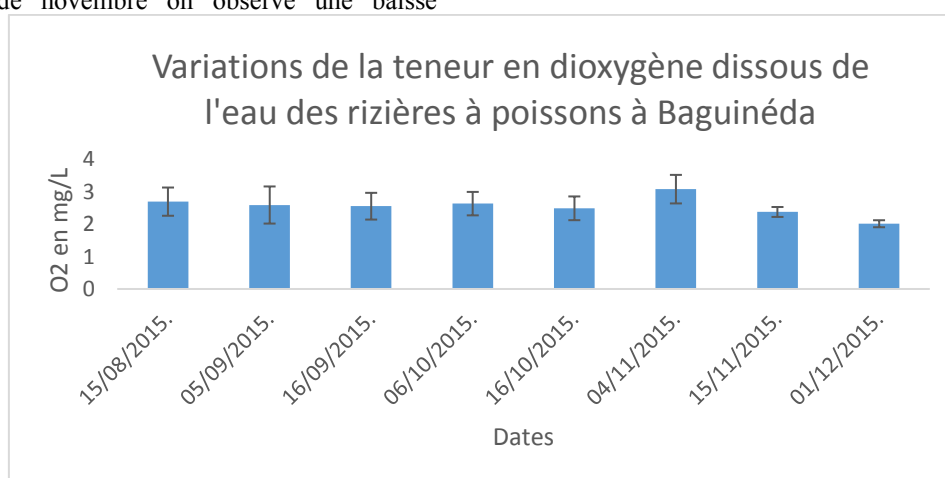


Figure 6: Variation du dioxygène dissous en fonction de la période d'échantillonnage

3.2. Peuplement phytoplanctonique

Le tableau 1 renseigne sur l'abondance relative et la composition spécifique (genres) des phytoplanctons des rizières de Baguinéda. Le peuplement de phytoplancton est composé des embranchements de Chlorophyta (7 genres), d'Euglenophyta (2 genres), de Cyanophyta (3 genres) et de Chrysophyta (3 genres). Il ressort que le *Spirulina* est absent dans les traitements T1 et T2. Les genres *Ulothrix* et *Staurastrum* sont respectivement absents dans les traitements T1 et T2. Le traitement T3 présente une richesse spécifique plus abondante que les deux autres traitements. Les Chlorophyta sont les plus abondants dans toutes les rizières. Les indices de Shannon observés pour les peuplements des casiers

T1 et T3 sont comparables et sont légèrement plus élevés que pour ceux de T2.

L'indice d'Équitabilité est faible et varie de 0.26 à 0.35. L'abondance totale des phytoplanctons est 2.5 à 2.6 fois plus importante dans les rizières à poissons des traitements 2 (1295) et 3 (1337) que dans celles de T1 (512) (Tableau 1). En revanche, l'indice de diversité de Shannon reste comparable dans les rizières de T1 et T3 (respectivement 3.16 et 3.21) alors qu'il est faible pour les casiers T2. Globalement, les Chlorophyta constituent 52 % de la population, suivis des Euglenophyta 23 %, des Chrysophyta 18 % et des Cyanophyta 7 % (Figure 7).

Tableau 1 : Répartition du peuplement de phytoplancton dans les étangs piscicoles par traitement.

Embranchement	Ordre	Famille	Genre	Traitement 1		Traitement 2		Traitement 3	
				ni	Abondance relative %	ni	Abondance relative %	Ni	Abondance relative %
Chlorophyta	Chlorococcales	Scenedesmaceae	Scenedesmus	80	15,62	110	8,49	123	9,20
		Hydrodictyaceae	Pediastrum	90	17,58	78	6,02	182	13,61
	Ulothricales	Ulothricaceae	Ulothrix			56	4,32	321	24,01
	Desmidiaceae	Desmidiaceae	Cosmarium	23	4,49	41	3,17	123	9,20
			Staurastrum	23	4,49			43	3,22
	Zygnematales	Zygnemataceae	Spirogyra	98	19,14	123	9,50	125	9,35
			Zygnema	7	1,37				0
Cyanophyta	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	Oscillatoria	12	2,34	8	0,62	15	1,12
			Spirulina					12	0,90
			Plectonema	13	2,54	34	2,63	120	8,98
Euglenophyta	Euglenales	Euglenaceae	Euglena			567	43,78		0
			Phacus	75	14,65	8	0,62	55	4,11
Chrysophyta	Achnanthes	Achnanthes	Achnanthes	47	9,18	123	9,50	167	12,49
	Naviculaceae	Naviculaceae	Caloneis	32	6,25	123	9,50	5	0,37
			Stauroneis	12	2,34	24	1,85	46	3,44
Nombre de taxons (genres) par traitement				12		12		13	
Abondance totale (N)				512		1295		1337	
Indice de Shannon (H')				3,16		2,72		3,21	
Indice d'Équitabilité E				0,35		0,26		0,31	

ni= effectifs de taxons i; N= effectif total

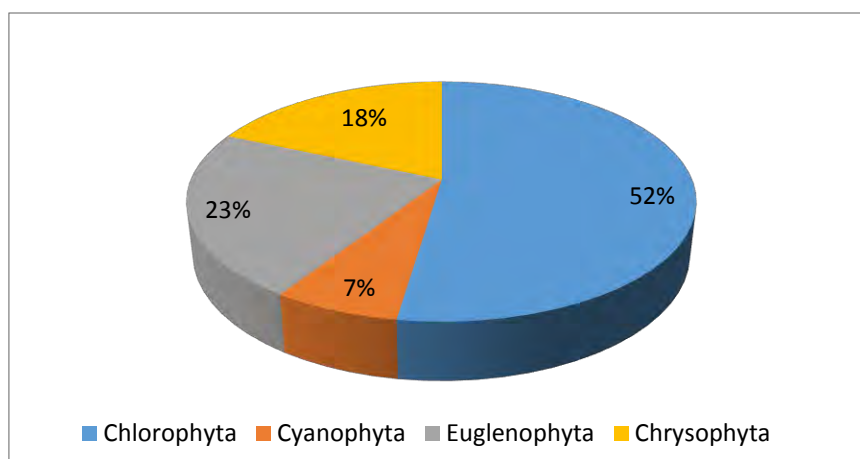


Figure 7 : Abondance relative des principaux embranchements de phytoplancton

3.3. Peuplement zooplanctonique

La composition systématique des zooplanctons inventoriés selon le traitement est consignée dans le tableau 2. Elle est composée des Rotifères, de Copépodes et Cladocères. Les Copépodes sont de deux genres, Megacyclops et Tropodiaptomus, présents abondamment dans les traitements T2 et T3. Les Tropodiaptomus sont absents des rizières de T1. Les Cladocères sont représentés par 4 genres. A l'exception du genre Alona, absent des casiers rizipiscicoles de T3, tous les autres paraissent ubiquistes. Globalement, ce sont les Rotifères qui sont plus abondants dans ces rizières (41%), (Figure 8) et une abondance quasi identique des Cladocères et des Copépodes respectivement de 30 % et 29 %.

Les Rotifères sont composés de six genres. Les genres Asplanchna, Brachionus, Collotheca et Trichocerca sont présents dans toutes les rizières étudiées. Les casiers rizipiscicoles de T3, où tous les six genres sont représentés contrairement aux autres, ont la plus grande richesse en Rotifères.

Bien que les indices d'Equitabilité soient identiques (0.33-0.34) et faibles dans tous les casiers de rizipisciculture (Tableau 2), ceux des traitements 2 et 3 ont un indice de diversité plus élevé que ceux recevant le traitement 1 (3.32 ou 3.02 vs 2.86). L'abondance totale reste deux fois plus importante dans les casiers T3 que dans les autres rizières à poissons.

Tableau 2: Occurrence et distribution du peuplement de zooplancton dans les rizières piscicoles selon les traitements.

Embranchements	Familles	Genres	Traitement 1		Traitement 2		Traitement 3	
			ni	Abondance relative %	ni	Abondance relative %	ni	Abondance relative %
Copépodes	Cyclopidae	Megacyclops	45	10,11	127	26,19	167	17,32
	Diaptomidae	Tropodiaptomus			99	20,41	101	10,48
Cladocères	Bosminidae	Keratella	45	10,11	23	4,74	80	8,30
	Chydoridae	Alona	34	7,64	29	5,98		
	Daphnidae	Daphnia	140	31,46	10	2,06	50	5,19
	Macrothricidae	Macrothrix	12	2,70	27	5,57	123	12,76
Rotifères	Asplanchnidae	Asplanchna	78	17,53	34	7,01	98	10,17
	Brachionidae	Brachionus	21	4,72	77	15,88	49	5,08
	Collothecidae	Collotheca	3	0,67	21	4,33	34	3,53
	Gastropodidae	Gastropus			26	5,36	76	7,88
	Lecanidae	Lecane					32	3,32
	Testudinellidae	Testudinella	22	4,94			31	3,22
	Trichocercidae	Trichocerca	45	10,11	12	2,47	123	12,76
Nombre de taxon (genres)			10		11		12	
Abondance totale (N)			445		485		964	

Indice de Shannon (H')	2,8 6		3,02		3,3 9
Indice d'Equitabilité E	0,3 3		0,34		0,3 4

ni : effectifs par genre et N : effectifs totaux

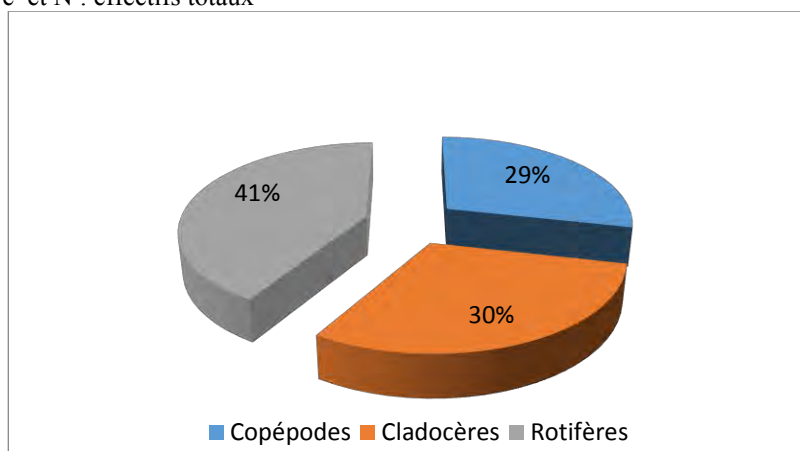


Figure 8: Abondance relative des principaux embranchements de zooplancton.

IV. DISCUSSION

L'analyse des paramètres physicochimiques montre que les variations de la température de l'eau des étangs allant de 25,68 à 29,43°C sont compatibles avec l'intervalle thermique favorable avec la croissance de *Clarias anguillaris* et *Oreochromis niloticus*, comme indiqué par Malcolm et al., (2000). *Oreochromis niloticus* est une espèce thermophile (aime des températures élevées) dont le référendum se situe entre 14 et 35°C. Elle peut supporter des températures de 7-41°C pendant quelques heures. Le Clarias (poisson chat) supporte des eaux chaudes et peut survivre à une température au dessus de 30°C. Pour l'élevage des espèces de poissons tropicales, la température optimale de croissance se situe entre 25-35°C. Cette température de l'eau doit être maintenue entre 15 et 25°C pour une bonne croissance. En dessous de 15°C, la reproduction chez les poissons s'arrête, ce qui n'est pas souvent intéressant. Ces valeurs sont aussi concordantes à celles de Dèdjiho (2011) et Pouomogne (1998) qui sont d'avis que les températures comprises entre 24 à 35°C sont favorables à une bonne croissance des espèces piscicoles couramment élevées. Egan et Boyd (1997) rapporté par Abou (2001) trouvent qu'une température de 28 à 32°C est optimale pour la croissance des tilapias. Cette température assez élevée peut entraîner aussi une diminution de l'azote inorganique dissous entraînant une plus grande productivité du phytoplancton (Sommaruga- Wogath et al., 1997 ; Rogora et al., 2003) et une augmentation du pH des lacs d'eau douce (Psenner et Schmidt, 1992).

La conductivité traduit la présence des molécules notamment des sels minéraux et organiques contenus dans l'eau, dissous pendant le passage sur ou à travers le sol. Ces sels sont importants puisqu'ils conditionnent la multiplication et la croissance du phytoplancton. Ils constituent le premier maillon de la chaîne alimentaire, donc leur présence en quantité insuffisante dans l'eau

peut bloquer la constitution de cette chaîne. Les valeurs obtenues, comprises entre 64,84 et 165,02 $\mu\text{S}/\text{cm}$, plus ou moins élevées, sont dues aux charges des particules solides qui se décomposent en particules plus fines et se minéralisent. D'où l'augmentation de la conductivité. Nos résultats corroborent ceux de Guenda (1996) qui a observé une conductivité de 101 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour le Mouhoun.

Les valeurs de pH restent dans l'intervalle de survie qui oscille entre 5 et 11 selon Malcolm et al., (2000) pour les deux espèces de poissons (*C. anguillaris* et *O. niloticus*) élevées dans les rizières tests. Mais Arraudeau (1998) avait observé un intervalle de survie relativement réduit entre 5.5 et 7.5. Selon Bremond et Perrodon (1979) les gammes de pH inférieures à 5 et supérieures à 9 sont directement mortelles pour les poissons. En effet pour la plupart des espèces aquatiques, la zone optimale de pH pour la reproduction, se situe entre 6 et 7.2. Au-delà de pH 9, il y a mortalité pour de nombreuses espèces (Zongo, 1994). Au regard de ce constat, l'ensemble des valeurs obtenues pour le pH des rizières à poissons à Baguinéda reste acceptable. Le pH légèrement alcalin des rizières serait dû à l'apport d'eau de l'irrigation relativement alcaline et au développement phytoplanctonique provoquant une absorption de l'acide carbonique (Tersian, 1979). De même El Blidi et al. (2008), ont expliqué l'alcalinité des eaux des rizières par l'activité biologique de la macro végétation immergée au sein des parcelles, par la nature des sols des rizières. Le pH à tendance alcaline (basique) dans les parcelles des tests tout au long de la campagne est compatible à la vie des poissons en élevage. Le pH optimum se situe entre 6.5 et 8.5 pour la croissance des poissons.

Les faibles valeurs de transparence observées seraient dues à l'action du courant d'eau des pluies (ruissellement). Ce dernier provoque des turbulences qui remettent en suspension les particules du sédiment (Grogga, 2012). Les fluctuations de la transparence dans

cette étude pourraient aussi résulter de l'importante prolifération algale.

La teneur en oxygène dissous observée dans les parcelles des tests paraît relativement basse. La faible concentration en oxygène dissous serait liée à la forte turbidité (concentration en MES). En effet, l'abondance des MES dans l'eau favorise la réduction de la luminosité et abaisse la production biologique du fait, en particulier, d'une chute de l'oxygène dissous consécutive à une réduction des phénomènes de photosynthèse (Lamizana-Diallo et al. 2008). Cette diminution serait liée en partie au manque d'énergie lumineuse et de brassage du vent avec la lame d'eau suite au développement du Riz. L'optimum pour les espèces de poisson élevées se situe dans la gamme de 5-8 mg/l.

Les résultats montrent que les indices de diversité de Shannon sont faibles et varient très peu d'un traitement à un autre, justifiant une diversité relativement élevée et une répartition assez déséquilibrée des taxons. Cela est mieux apprécié avec l'indice d'Equitabilité, qui fait ressortir le déséquilibre de l'écosystème et la mauvaise répartition des espèces, au vu de ses valeurs faibles dans la plupart des niveaux de prélèvement. Toutefois, il apparaît que l'abondance totale voire aussi spécifique apparaît plus élevée dans les rizières recevant pour l'alimentation des poissons de la matière organique et une ration d'aliments composés (farine basse de riz et tourteau de coton). Des études similaires ont été faites dans le lac de Guiers au Sénégal (Ba, 2006) dont l'indice de diversité de Shannon, faible, est égal à 0.79. Dans le fleuve Niger au Mali Koné (2011) a obtenu un indice de diversité de 3.45 et dans le lac de Taabo en Côte d'Ivoire l'indice de diversité de Shannon est de 3.46 d'après Grogan (2012). Les explications de ces différences peuvent être en rapport avec l'hydrodynamisme des écosystèmes étudiés (rivières, fleuve, lagune et lacs).

Les communautés phytoplanctoniques des différentes rizières piscicoles présentent une taxonomie dominée par les Chlorophyta, les Euglenophyta les Chrysophyta et les Cyanophyta, caractéristiques d'un milieu riche en substances organiques (Thomaz 2003), favorable à la prolifération des zooplanctons qui sont profitables aux régimes alimentaires des juvéniles de *Clarias anguillaris* et *Oreochromis niloticus*. La densité et la composition du phytoplancton dépendent remarquablement du peuplement zooplanctonique (Bouarab, 2000), lui-même influençable par les paramètres physico-chimiques. Même si les abondances relatives ne sont pas identiques, nous retrouvons dans nos rizières à poissons les mêmes groupes dominants, Chlorophyta, Cyanophyta et Euglenophyta, que ceux des études antérieures sur le Niger (Bourrelly, 1957 ; Couté et Rousseliin, 1975 ; Koné, 2011). En revanche, nos résultats diffèrent de ceux de Zongo (1994) au Burkina Faso et Niamien

(2009) en Côte d'Ivoire. Dans les échantillons étudiés par ces deux auteurs, l'embranchement des Chrysophyta dominé par les diatomées est le plus diversifié.

L'étude du peuplement zooplanctonique met en évidence 10 taxa dans le traitement 1, 11 dans le traitement 2 et 12 dans le traitement 3. Ces valeurs sont inférieures aux richesses spécifiques comprises entre 7 et 30 trouvées par Starling (2000) dans six réservoirs du centre du Brésil. La richesse spécifique des trois traitements est dominée par les rotifères (41 %) suivis des cladocères (30 %) et des copépodes (29 %). De nombreux auteurs (Aka *et al.*, 2000; Starling, 2000; Zebaze *et al.*, 2005) ayant travaillé dans les milieux tropicaux, ont obtenu des résultats similaires. D'autres études ont également soulignées la dominance quantitative des Rotifères dans la lagune d'Imboassica au Brésil (Branco *et al.*, 2007), la lagune de Massa au sud de Maroc (Badsy *et al.*, 2010) et dans d'autres plans d'eau tropicaux tels que la rivière d'Omi au Nigéria (Fafioye et Omoyinmi, 2006). En revanche, les résultats de certaines études menées dans les lagunes de la Côte d'Ivoire montrent la prédominance numérique des Copépodes : lagune d'Aby-Tendo-Ehy (92 %; Repelin, 1985), lagune d'Ebrié (51-99%, Repelin, 1985 ; Arfi *et al.*, 1988; Pagano et Saint- Jean, 1990, lagune Grand- Lahou (82-87 %; Repelin, 1985; Etilé *et al.*, 2009).

V. CONCLUSION

Cette étude a permis de connaître les peuplements planctoniques des casiers de rizipisciculture à Baguinéda. Les variations des paramètres abiotiques sont plus marquées au niveau temporel que spatial. Les rizières à Baguinéda constituent des zones propices à l'élevage des poissons. Leurs eaux présentent en effet des caractéristiques physico-chimiques compatibles à la production piscicole. Celle-ci est favorisée par le développement de leur nourriture de base, les phyto et zooplanctons. La bonne qualité des eaux des rizières est peut être aussi le signe d'une faible utilisation de pesticides dans ces casiers.

Les peuplements planctoniques sont relativement diversifiés et dominés par les chlorophyta (phytoplancton) et les rotifères (zooplancton) qui sont des indicateurs de la bonne qualité des eaux de ces rizières. La répartition inégale des taxa ainsi que leurs abondances entre traitements seraient un indicateur de l'influence des apports alimentaires et des fertilisants dans ces milieux aquatiques. Toutefois, le manque de données sur les casiers uniquement rizicoles exige une prudence dans ces interprétations. Des études plus approfondies sur la biomasse primaire de ces écosystèmes représentent des pistes de recherches futures.

REMERCIEMENTS

Cette recherche a bénéficié du financement, n° 07815/2012/DDS/DESFP/PAES, de l'Union

Economique et Monétaire d'Afrique de l'Ouest (UEMOA). Qu'elle en soit ici remerciée à travers cette communication.

REFERENCES

- [1] Abou Y, 2001. Effet d'une couverture d'*Azolla* LAM sur la production piscicole du tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) en étangs dans la banlieue de Cotonou (Bénin). Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme d'études complémentaire en éco-technologie des eaux continentales. Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix. Faculté des Sciences. Namur-Belgique. pp. 85.
- [2] Aka M, Pagano M, Saint-Jean L, Arfi R, Bouvy M, Cecchi P, Corbin D, Thomas S., 2000. Zooplankton variability in 49 shallow tropical reservoirs of Ivory Coast (West Africa). *International Review of Hydrobiology*, 85: 491-504.
- [3] Arfi R., Pagano M. & Saint-Jean L., 1988. Communautés zooplanctonique dans une lagune tropicale (lagune Ebrie C8te d'Ivoire) variations spatio-temporelles. *Rev. Hydrobiol. Trop.*
- [4] Arraudeau M., 1998. Le riz irrigué, le technicien d'agriculture tropicale. Maisonneuve et Larose, Paris, 1: 58 102.
- [5] Autorité du Bassin du Niger, 2004 : Etude Multisectorielle Nationale
- [6] Ba N. (2006) : La communauté phytoplanctonique du Lac de Guiers (Sénégal) : Types d'associations fonctionnelles et approches expérimentales des facteurs de régulation, Thèse de Doctorat 3^e cycle, Université Cheick Anta Diop de Dakar, 144 pages.
- [7] Badsì H, Ali OH, Loudiki M, El Hafa M, Aamari A., 2010. Ecological factors affecting the distribution of zooplankton community in Massa Lagoon (Southern Morocco). *African Journal of Environmental Science and Technology*, 4(11): 751-762.
- [8] Bouarab L., 2000. Dynamique et rôle des algues phytoplanctoniques dans le traitement des eaux usées (station pilote de lagunage naturel de Ouarzazate-Maroc), *Thèse Doctorat d'état es-sciences, Faculté des sciences Semlalia-Marrakech*, 207p.
- [9] Bourrelly P., 1957. Algues d'eau douce du Soudan Français, Région du Macina (AOF)-Bull. IFAN, ser A, 19 (4) : 1047-1102.
- [10] Branco CWC, Kozłowski-Suzuki B, Esteves FA, 2007. Environmental changes and zooplankton temporal and spatial variation in a disturbed Brazilian coastal lagoon. *Brazilian Journal Biology*, 67(2): 251-262.
- [11] Bremond R., Perrodon C., 1979. *Paramètres de la qualité des eaux*. Paris : Ministère de l'Environnement et du Cadre de la Vie, 2^e éd., 258 p.
- [12] Couté A. et Rousselin G., 1975. Contribution à l'étude des algues d'eau douce du Moyen Niger (Mali)-Bull-Mus-Hist-Nat, 3^e série, 277 : 73-175.
- [13] Dèdjiho C A, 2011. Évaluation de la chaîne trophique d'une aire marine protégée en relation avec sa physico-chimie : cas de Gbèzoumè dans la commune de Ouidah. Mémoire de DEA. FAST/UAC, Bénin.
- [14] El Blidi (S.), Fekhaoui (M.), Serghini (A.), El Abidi (A.) 2008. Rizières de la plaine du Gharb (Maroc) : qualité des eaux superficielles et profondes. - *Bull. Inst. Sci. Rabat, Sect. Sci. Vie*, 28 : 55-60. http://www.israbat.ac.ma/html/PublicationsIS/BI_Ssv_28/ElBlidi.pdf
- [15] Etilé NR, Kouassi AM, Aka MN, Pagano M, N'douba V, Kouassi NJ., 2009. Spatiotemporal variations of the zooplankton abundance and composition in West African tropical coastal lagoon (Grand- Lahou, Côte d'Ivoire). *Hydrobiologia*, 624: 171-189. DOI 10.1007/s10750- 008-9691-7.
- [16] Fafioye OO, Omoyinmi GAK., 2006. The rotifers of Omi River, Ago-iwoye, Nigeria. *African Journal Agriculture Resources*, 1(5): 18-188.
- [17] Grogan N. (2012) : Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac Taabo (Côte d'Ivoire), Thèse, discipline Ecologie fonctionnelle, Université de Toulouse, 224 Pages.
- [18] Guenda W., 1996. Etude faunistique, écologique et de la distribution des insectes d'un réseau hydrographique de l'Ouest africain : le Mouhoun (Burkina Faso) ; rapport avec *Simulium damnosum* Theobald, vecteur de l'onchocercose. Thèse d'Etat, Université de droit, d'économie et des sciences d'Aix Marseille III, pp. 13-50.
- [19] Iltis A., 1980. Les algues, pp 9-56 in Durand J. R. et Levêque. C., Flore et faune aquatiques de l'Afrique Sahélo-Soudanienne-Coll. Initiations-Documentations Techniques n°44-Tome I, Paris.
- [20] Jacquet S. (2003) : Microalgues et Cyanobactéries lacustres : Présentation, dynamique des populations, toxicité, un cas particulier sur le Bourget. INRA, France, 47 p.
- [21] Kestemont P., 1996. Production d'alevins de *Tilapia nilotica*. FAO/ADCP/REP/89/46, 123p.
- [22] Koné D., 2011. Composition, biomasse et dynamique saisonnière du peuplement du phytoplancton du fleuve Niger à Bamako (Mali). Thèse, Université de Bamako, Spécialité Sciences

- Biologiques Appliquées, Option Ecologie Animale/Hydrobiologie. 141 p.
- [23] Lamizana-Diallo M B, Kenfack S et Millogo-Rasolodimby J, 2008. Évaluation de la qualité physicochimique de l'eau d'un cours d'eau temporaire du Burkina Faso – Le cas du Massili dans le Kadiogo. Sud Sciences et technologiques. ISSN 0796-5419 du 16 juin 2008.
- [24] Ledreux A., 2010. Contribution à l'évaluation du risque pour l'homme lors de l'apparition de neurotoxines émergentes : analyse de réponses cellulaires et sélection de modèles expérimentaux de criblage. Thèse, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech), 247 p.
- [25] Malcolm C., Beveridge H. & McAndrew B. J., 2000. Tilapias: biology and exploitation. Institute of aquaculture. University of Stirling, Scotland, 185 p.
- [26] Niamien. J. E. Epouse Ebrottié (2009) : Composition et distribution spatiale et saisonnière des peuplements d'algues de quatre rivières du Sud-Est de la Côte d'Ivoire (Soumié, Eholié, Ehania et Noé), Thèse de Doctorat, Université d'Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire, 155 p.
- [27] Ouéda A., 2009. Zooplancton et alimentation des poissons des Lacs artificiels de Bagré et de Loumbila (Burkina Faso). Thèse unique, Université de Ouagadougou. Spécialité Sciences Biologiques Appliquées, Option Biologie et Ecologie Animales/Hydrobiologie, 179p.
- [28] Pagano M. & Saint-Jean I., 1990. Comparaison de deux techniques de prélèvement' du zooplancton, le filet et la trappe de Schindler, en lagune Ebrie (Cote d'Ivoire). *Hydrobiologia* 173 pages
- [29] Payne I. A., 1986. The ecology of tropical lakes and Rivers, Edit. John Wiley and sons, 200 p.
- [30] Pouomogne V, 1998. Pisciculture en Milieu Tropical Africain. Comment produire du poisson à coût modéré. Presse Universitaire d'Afrique, Yaoundé. 263p.
- [31] Repelin R. 1985. Le zooplancton dans le système lagunaire ivoirien. Variations saisonnières et cycles nycthéméraux en lagune Ebrié. *Document scientifique, Centre de Recherches Océanologiques, Abidjan*, 16 : 1 43.
- [32] Rogora M., Marchetto A., Mosello R., 2003 - Modelling the effects of atmospheric sulfur and nitrogen deposition on selected lakes and streams of the Central Alps (Italy). *Hydrol. Earth Syst. Sci.* VII. 540- 551p.
- [33] DNP 2006. Schéma directeur de développement de la pêche et de l'aquaculture au Mali a été adopté par le gouvernement en avril 1997 et actualisé en 2006. 32 p.
- [34] Sommaruga-Wograt S., Koinig K.A., Schmidt R., Sommaruga R., Tessadri R., Psenner R., 1997 - Temperature effects on the acidity of remote alpine lakes. *Nature* 387, 64-67.
- [35] Starling F. L. do R. M., 2000. Comparative study of the zooplankton composition of six lacustrine ecosystems in central Brazil during the dry season. *Rev. Brasil Biol.* 60 (1) 101-111.
- [37] Streble H. et Krauter D., 1988. Das Leben im Wassertropfen : Mikroflora und Mikrofauna des Süßwassers Ein Bestimmungsbuch, Kosmos Gesellschaft der Naturfreunde, Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, livre, 399 p.
- [38] Tersian.E., 1979. Écologie des mares temporaires de l'Isoetion dans le Crau et l'Esterel (France). Thèse 3e Cycle, Montpellier, 140 p.
- [39] Thomaz, S.M., D. C. Souza, L.M. Bini, 2003. Species richness and beta diversity of aquatic macrophytes in a large subtropical reservoir (Itaipu Reservoir, Brazil): the influence of limnology and morphometry. *Hydrobiologia* 505: 119-128.
- [40] Traoré G., 1974. Le phytoplancton : son abondance dans le Niger au cours de l'année. Mémoire de Maîtrise, Ecole Normale Supérieure de Bamako (Mali), 35 p.
- [41] Zebaze Togouet S. H., Njine T., Kemka N., Nola M., Foto Menbohan S., Monkiedje A., Niyitegeka D., Sime-Ngando T. et Jugnia L. B., 2005. Variations spatiales et temporelles de la richesse et de l'abondance des rotifères (Brachionidae et Trichocercidae) et des cladocères dans un petit lac artificiel eutrophe situé en zone tropicale. *Revue des Sciences de l'eau* 18 (4) : 485-505.
- [42] Zongo F., 1994. Contribution à l'étude du phytoplancton d'eau douce du Burkina Faso : Cas du barrage n°3 de la ville de Ouagadougou ville. Thèse de 3^e cycle, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, Spécialité : Sciences biologiques appliquées, Option Biologie et Ecologie végétales, 161 p.

Improvement of Diosgenin Level in the Tubers of *D.COMPOSITA* by Methyl Dihydro Jasmonate, ethephon and Salicylic Acid Treatment

Sabake T. DIARRA^{1,2}, Yacouba DIALLO¹, Abdou MALLÉ¹, Jiaru LI², Yiquan JIANG²

¹Rural Polytechnic Institute for Training and Applied Research (IPR/IFRA), Katibougou

²College of Life Sciences, Wuhan University

Corresponding Email address: diarrast@yahoo.fr

SUMMARY: Diosgenin, a plant steroidal sapogenin represents the main raw material for commercial synthesis of sex drugs and corticosteroids such as cortisone, testosterone, and progesterone. Small amounts of diosgenin are accumulated in plant tissue, but these amounts can be enhanced by elicitation.

This work aims to investigate the effect of methyl dihydro jasmonate, ethephon, and salicylic acid, on the level of diosgenin in the tubers of wild growing *Dioscorea Composita* Hemsl. Plants have been treated with different concentrations of three chemicals (elicitors). Diosgenin content has been analyzed by the Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA) method. The results reveal that all of these three chemicals in different concentrations are able to increase the diosgenin level in this plant. In comparison with the control plant, salicylic acid at concentration 50ppm increased diosgenin level up to 59.67%, higher than the level in the control kind, whereas 1ml/L ethephon and 60µl/L methyl dihydro jasmonate increased it up to 45.78% and 41.77% respectively.

Keywords: Diosgenin, *Dioscorea composita*, elicitors

1. INTRODUCTION

Diosgenin, (25R)-Spirost-5-en-3β-ol, a plant steroidal sapogenin which belongs to the triterpene group of secondary metabolites supposed to play a defensive role in plant, was first isolated from *Dioscorea tokoro* in 1930 by Japanese researchers [1]. Diosgenin represents the main raw material for commercial synthesis of sex drugs and corticosteroids such as cortisone, testosterone, and progesterone. Diosgenin has an estrogenic action on the mammary gland [2], plays an important role in the control of cholesterol metabolism [3, 4]. Diosgenin is supposed to induce differentiation of human erythroleukemia cell line (HEL TIB 180) through changing lipoxygenase activities [5, 6]. Diosgenin is of a great interest in pharmaceutical industry, since it can be used as an anti-inflammatory or anti-neoplastic agent, shows antiviral activity [7, 8]. In dioscoreacea, diosgenin is synthesized in leaves transported through the stem and stored in the tubers [9]. *Dioscorea composita* Hemsl. (Family, Dioscoreaceae) is a medicinal yam cultivated for diosgenin [11]. There is a great variability in the level of diosgenin accumulated by tubers. Diosgenin obtained from *D. composita* Hemsl tubers has highest purity [12].

In general, small amounts of diosgenin are accumulated in plant tissue, but this amount can be enhanced by elicitation.

Elicitation is the induced or enhanced biosynthesis of metabolites due to addition of trace amounts of chemical substances (elicitors) [13]. So many works have been carried out on secondary metabolites

production by elicitation, but there is limited information regarding elicitation of wild growing *Dioscorea composita* Hemsl.

In this work three chemicals; MDJ (Methyl Dihydro Jasmonate), ETH(Ethephon), and SA (Salicylic Acid), which are known to be elicitors of different compounds in different plants materials have been used. MDJ and MeJA (methyljasmonate), both derived from Jasmonic acid, have similar effect, although the elicitation activity of MeJA is stronger than that of MDJ [14]. It has been demonstrated that MeJA and SA induce the accumulation of phenolic compounds in ginseng root by altering the phenolic synthesis enzymes [15]. These elicitors can be considered as signaling molecules, involved in some signal transduction systems, which induce particular enzymes of the secondary metabolic pathway to form defense compounds such as phenolics [16].

Diosgenin content and enzymes activities can be increased in *Trigonella foenum-graecum* seedlings when treated with ethephon [17]. Gomez, P. *et al* [18] has observed increase in diosgenin biosynthesis and accumulation when treated fenugreek cells suspension with ETH. Ethephon treatment increased anthocyanin concentration in *Vitis vinifera* cells cultures [19], and also improves diosgenin accumulation in *in vitro* cultures of *Dioscorea zingiberensis* [20].

2. MATERIALS AND METHOD

The plant material is the *Dioscorea composita* plants cultivated in the farm of Panzhuhua Guanghua Group Co.Ltd., situated in Songfa village,

Panzhihua District, in Sichuan Province, P.R. CHINA. Methyl dihydro jasmonate and Salicylic acid are first dissolved in triton X-100 and 95% ethanol respectively and then diluted to different needed concentrations.

MDJ – 15µl/L, 30µl/L, 45µl/L, 60µl/L, 90µl/L, and 120µl/L;

ETH - 0.1ml/L, 0.5ml/L, and 1.0ml/L

S.A. – 10ppm, 20ppm, 50ppm, 100ppm, and 200ppm;

The treatment concerned two years old *D. composita* plants, so one year before the harvest of tubers.

One litre of elicitor solution was sprayed on to one individual isolated plant. The operation was repeated three times in four months intervals. Water has been used as control solution. For each treatment, diosgenin content was assessed in the tubers (storage organ), stems, and leaves of the plants.

Diosgenin content has been analyzed by the Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA) method. Samples (tubers, stems and leaves) were cleaned, dried at 80°C to a constant weight and powdered. To 200mg of the powder were added 5ml methanol, the mixture is sonicated in an ultrasonic cleaning bath three times in 1-h intervals; and the extract is used to perform ELISA as described by Jiaru Li *et al.*^[21].

3. RESULTS

This work was initiated to investigate whether the used elicitors can induce any change in diosgenin biosynthesis in wild growing *D. composita* tubers.

The results showed that all of the chemicals can increase diosgenin content in tubers of treated plants, in comparison with the control one.

The concentration 60µl/L of methyl dihydro jasmonate increased diosgenin content up to 2.3705%d.w.(dry weight). (Fig 2). Ethephon at concentration 1.0ml/L gave the highest level of diosgenin induced by this chemical; 2.4373% d.w. (dry weight). (Fig.3).

In Salicylic Acid treated plants, diosgenin level increased with increase of SA concentration up to 50ppm, which reached 2.6696%d.w. (dry weight)., then decreased gradually (Fig.4).

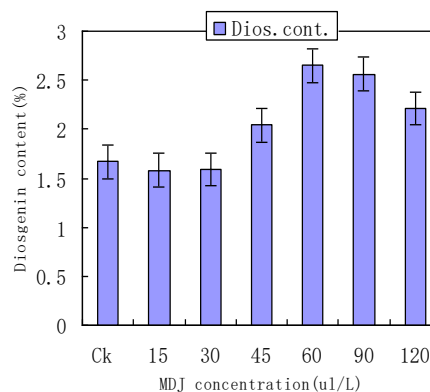


Fig. 2: Effect of MDJ on diosgenin content in *D. composita* tubers.

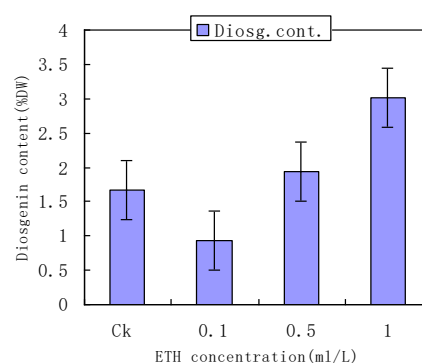


Fig 3: Effect of ETH on diosgenin content in *D. composita* tubers.

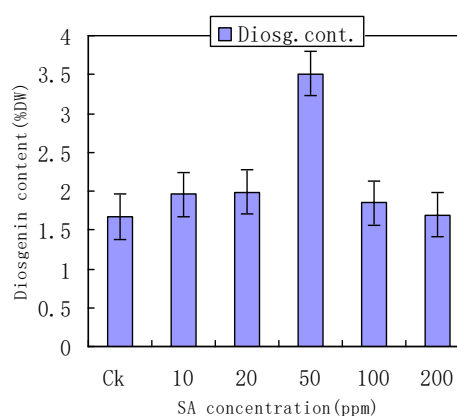


Fig. 4: Effect of SA on diosgenin content in *D. composita* tubers.

Diosgenin level in stems and leaves of plants treated with 60µl/L MDJ, 1ml/L ETH, and 50ppm SA was measured and compared to that of control plants. The results show that diosgenin in the tubers is 3 to 6 folds and 5 to 10 folds higher than that in the stems and leaves respectively (Fig 5).

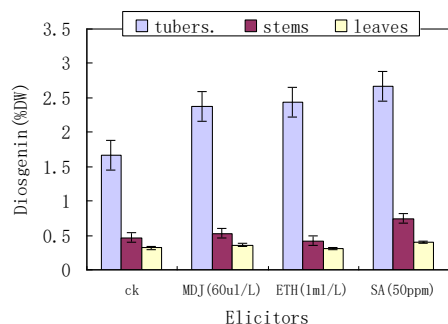


Fig. 5: Dynamic changes of diosgenin in different organs of *D. composita*.

The used elicitors have all induced decreased in water content of tubers in comparison with control samples, as follows: MDJ- 7.23% ETH- 8.21%, and SA- 5.37%; but no evident morphological change was observed in treated plants. The present data are the average of three replications for each elicitor. No significant difference has been observed between replications.

Values are the mean $\pm$ SD from three replicates determination (Students tests, $p < 0.05$)

4. DISCUSSION

The effect of SA, ETH and MDJ on diosgenin content in wild growing *D. Composita* tubers was studied. In this geographical area diosgenin level in this plant is relatively low. The highest level we got in untreated plants is 1.67%DW. The concentration 0.1ml/L of ETH decreased diosgenin level below that of the control; while 0.5ml/L and 1.0ml/L increased it respectively up to 1.7767% and 2.4373%DW (Fig 3). The decrease of diosgenin content at 0.1ml/L concentration might be caused by the induction of other metabolic pathway whose activity is inhibited by increase of ethephon concentration. This result has some similarity with that obtained by other researchers in others plant species^[17, 20]

The lower concentration of MDJ (15µl/L and 30µl/L) decreased diosgenin content, and then the level increased with increase of MDJ concentration, up to 60µl/L; subsequent increase in MDJ concentration led to decrease of diosgenin level. These results are in accordance with those of other researchers who found that exogenously applied MeJA induces biosynthesis of terpenoids and many other secondary metabolites^[22, 23, 24]

Change of diosgenin level among different organs of the plant (tubers, stems and leaves) has been investigated in treated plants in which the diosgenin level was the highest. It has been observed that the level of diosgenin in the tubers is about 4 to 6 folds, and 6 to 16 folds higher than that in the stems and leaves respectively. The leaves are the source (organ of synthesis) of diosgenin; stem the organ for transport whereas tubers are the storage organ^[9].

5. CONCLUSION

In the present study, we tried to improve diosgenin production in *D. composita* has demonstrated efficiency of elicitation for enhancing secondary metabolites production. It can be used as starting point of further investigations to qualitatively improve the production of these compounds.

However, to meet the industrial needs of this precious plant compound, it's necessary to search new alternative plants sources widely distributed in different agro-climatic conditions through out the world, since the existing commercial sources of diosgenin (*Dioscoreaceae*) have restricted distribution in few areas.

REFERENCES

- [1] Yang M. H. (1981) Steroidal sapogenins from plants of Dioscorea; *Chin. Trad. Herb. Drugs*, **12pp** 41-8
- [2] Aradhana M., Rao A.R., and Kale R.K. (1992) Diosgenin, a growth stimulator of mammary gland of avariectomized mouse. *Indian Journal of Experimental Biology*; **30**:367-370.
- [3] Holland R.E., Rahman K., Morris A.I., Coleman R. and Billington D. (1993) Effects of niacin on biliary lipid output in the rat. *Biochemistry and Pharmacology*; **45**: 43-49.
- [4] Roman I.D., Thewles A. and Coleman R. (1995) Fractionation of livers following diosgenin treatment to elevate binary cholesterol. *Biochemistry Biophysics Acta*; **1255**:77-81.
- [5] Beneytout J.L., Napez c., Leboutet M.J., Malinvaud G. (1995) A plant steroidal, diosgenin, a new megakaryocytic differentiation induced of HEL cells. *Biochem. Biophys. Res. Commun*; **207**: 398-404.
- [6] Napez C., Liagre B., Beneytout J.L. 1995) Changes in lipoxygenase activities in human erythroleukemia (HEL) cells during diosgenin-induced differentiation. *Cancer Lett*; **96**:133-40
- [7] Aquino R., Conti C., De Simone F., Orsi N., Pizza C., and Stein M.L. (1991) Antiviral activity of constituents of *Tamus communis*. *Journal of Chemotherapy*; **3**: 305-309.
- [8] Ya-Jean Wang, Kao-Lu Pan, Tsung-Chih Hsieh, Teng-Yuan Chang, Wen-Hsing Lin, and John T.-A. Hsu (2011); Diosgenin, a Plant-Derived Sapogenin, Exhibits Antiviral Activity in Vitro against Hepatitis C Virus. *Journal of Natural Products*, **74**, 580–584
- [9] Kun Yu, Yan Wang, Jianrong Wei, Qing Ma, Dan Yu and Jiaru Li. (2009) Improving rhizome yield and quality of *Paris polyphylla* through gibberellic acid-induced retardation of

- senescence of aerial parts. *Plant Signaling and Behavior*; **4**(5):413-415.
- [10] Huming Li, Alfons Radunz, Ping He, and Georg H. Schmid. (2002) Influence of Different Light Intensities on the Content of Diosgenin, Lipids, Carotenoids and Fatty Acids in Leaves of *Dioscorea zingiberensis*. *Z. Naturforsch* **57c**:135-143
- [11] Sedigeh Alizadeh, Sinclair H. Mantell, and Ana Maria Viana (1998); In vitro culture and microtuber induction in the steroid yam *D. composita* Hemsl. Plant cell, Tissue and Organ culture **53**pp.107-112
- [12] Singh K. N., Rajesh Kaushal. (2007) Comprehensive Notes on Commercial Utilization, Characteristics and Status of Steroid Yielding Plants in India. *Ethnobotanical Leaflets*; **11**pp45-51
- [13] Namdeo A.G. Plant (2007) Cell Elicitation for Production of Secondary Metabolites. *Pharmacognosy Reviews* **1**(1):69-79
- [14] Wei Wang and Jian-Jhang Z'ong. (2000). Manipulation of Ginsenoside heterogeneity in Cell Culturer of *Panax notoginseng* by Addition of Jasmonates. *Journal of Baoscience and Bioengineering*; **93**(1): 48-53.
- [15] Mohammad Babar Ali, Eun-Joo Hahn and Kee-Yoeup Paek. (2007) Methyl Jasmonate and Salicylic acid Induced Oxidative Stress and Accumulation of Phenolics in *Panax ginseng* Bioreactor Root Suspension Cultures. *Molecules* **12**: 607-621.
- [16] Reymond P., Farmer E. E. (1998). Jasmonate and salicylate as global signals for defense gene expression. *Curr. Opin. Plant Biol.* **1**pp. 104-111
- [17] Debjani De, Bratati De. (2003) Effect of ethephon on antioxidant enzymes and diosgenin production in seedlings of *Trigonella foenum-graecum*. *Food Chemistry*; **82**: 211-216.
- [18] Gómez P., A. Ortuño and J. A. Del Río (2004) Ultrastructural changes and diosgenin content in cell suspensions of *Trigonella foenum-graecum* L. by ethylene treatment. *Plant Growth Regulation*; **44**: 93-99.
- [19] Nay Min Min Thaw Saw, Heidi Riedel, Onur Kütük, Kavitha Ravichandran and Iryna Smetanska (2010). Effect of Elicitors and Precursors on the Synthesis of Anthocyanin in Grape, *Vitis Vinifera* cell cultures. *Energy Research Journal* **1**(2) pp. 189-192
- [20] Diarra, S. T.; HE, J; Wang, J; and LI, J. (2013) Ethylene treatment improves diosgenin accumulation in *in vitro* cultures of *Dioscorea zingiberensis* via up-regulation of CAS and HMGR gene expression. *Electronic Journal of Biotechnology*, vol. **16**, no. 5.
- [21] Jiaru Li, Dingyu Yang, Kun Yu, Ji He, Yingjun Zhang (2010). Determination of Diosgenin Content in medicinal Plants with Enzyme-Linked Immunosorbent Assay. *Planta Medica*; **76**: 1-6
- [22] Yukinine Y., Tabata H., Higashi Y. and Hara Y. (1996). Methyljasmonate induced overproduction of paclitaxel and baccatin III in *Taxus* cell suspension cultures. *Nat. Biotechnol.* **14**pp. 1129-1132
- [23] Mandujano-Chavez A., Schoenbeck M.A., Ralston L.F., Lozoya-Gloria E., and Chappell J. (2000) Differential induction of sesquiterpene metabolism in tobacco cell suspension cultures by methyl jasmonate and fungal elicitor. *Arch. Biochem. Biophys.* **381**: 285-294
- [24] Martin D., Throll D., Gershenzon J, and Bohlmann J. (2002) Methyl jasmonate induces t2aulatic resin Ducts, terpenoid resin biosynthesis, and terpenoid accumulation il developing xylem of Norway spruce stems. *Plant Physiol.*; **129**: 1003-1018.

Effets de différents pré-traitements sur le taux de germination des graines de *Corchorusolitorus*

Ousmane NIANGALY^{1*}, Bakary KONE², Adama TOGOLA¹, Bakary M. TRAORE¹

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

2. Institut de l'Environnement et des Recherches Agricoles de Bobo Dioulasso

*Adresse de correspondance : ousmanenia2000@yahoo.fr

RESUME: Le Corchorus, communément appelé Zofon en bambara, Fakoye en sonrhai, Canvohon en mianka et Gondooro en dogon, est consommé tant à l'état frais qu'à l'état sec.

Les feuilles du Corchorus entrent de plus en plus dans les habitudes alimentaires des populations Africaines en général et celle du Mali en particulier. Cependant, sa production est essentiellement assurée par la cueillette à l'état naturel qui pose deux problèmes : d'une part le problème de la conservation de sa biodiversité lié aux différents modes de cueillette (écimage, arrachage, etc.) et d'autre part, celui de sa production quantitative et qualitative.

La conservation de la biodiversité et la production quantitative et qualitative du Corchorus nécessite sa domestication. La mise en culture du Corchorus nécessite la maîtrise de la physiologie de la plante et des techniques culturales bien adaptées pour assurer une meilleure diversité biologique et une bonne production. Les études préliminaires ont montré que les graines de Corchorus ont une grande aptitude à la dormance. Ce phénomène est généralement dû à l'étalement de la germination des graines. Il est important de connaître les mécanismes impliqués dans la dormance des graines de Corchorus et les modalités de leur levée.

L'objet de la présente étude est de déterminer les effets de différents pré-traitements sur le taux de germination des graines de *Corchorusolitorus*.

Le matériel végétal est constitué des graines de *Corchorusolitorus* de durée d'un an et de deux ans. Trois tests de germination ont été conduits au laboratoire d'Agro-physio-génétique et de Biotechnologies végétales de l'IPR/IFRA de Katibougou.

Le premier test a concerné l'effet de différentes concentrations et de durées de trempage de l'acide chlorhydrique sur le taux de germination des graines de corchorus. Le second test a concerné l'effet de différentes durées de séjour dans l'étuve sur le taux de germination des graines de Corchorus. Le troisième test a concerné l'effet du traitement thermique sur le taux de germination des graines de Corchorus de différentes durées de conservation.

Les résultats des différents tests sur le taux de germination des graines de Corchorus ont montré que :

- le meilleur de taux de germination a été obtenu avec la concentration 37% d'acide chlorhydrique ;
- la meilleure durée de trempage des graines est de 120 mn ;
- la meilleure durée de séjour dans l'étuve est de 5 jours ;
- le meilleur traitement pour la levée de la dormance est l'ébullition des graines dans l'eau pendant une minute suivie de leur séjour de 24 heures dans l'eau quelle que soit la durée de l'âge de la conservation de la graine de Corchorus ;
- la dormance des graines de Corchorus a une composante tégumentaire et une composante embryonnaire ;
- la composante tégumentaire croît avec la durée de la conservation de la graine ;
- la composante embryonnaire décroît au contraire avec l'âge de la conservation de la graine.

Mots-clés : Corchorus, effets traitements, acide chlorhydrique, étuve, température et dormance des graines de Corchorus.

I. INTRODUCTION

Après les grandes sécheresses périodiques des années 1972-1973, 1983-1985, 1994-1995 qui ont frappé d'abord les pays du Sahel et ensuite la plupart des pays de l'Afrique, la question de la satisfaction des populations en denrées alimentaires est devenue cruciale. La crise alimentaire mondiale de 2008-2009 vient aggraver une situation déjà fragile. Les pays africains en général et surtout les pays sahéliens doivent mobiliser toutes les ressources pour nourrir leurs populations. Aussi AKE Assi (1991) écrivait : « Aucun progrès durable, dans quelque domaine que ce soit, n'est à espérer des sociétés humaines tant que celles-ci ne jouiront pas de disponibilités

alimentaires suffisantes, en quantité et en qualité, pour assurer leur bon état nutritionnel ».

Le Corchorus, communément appelé Zofon en bambara ; Fakoye en sonrhai, Canvohon en mianka et Gondooro en dogon, est consommé tant à l'état frais qu'à l'état sec.

Les feuilles du Corchorus entrent de plus en plus dans les habitudes alimentaires des populations Africaines en général et celle du Mali en particulier. Cependant sa production est essentiellement assurée par la cueillette à l'état naturel qui posent deux problèmes, d'une part le problème de la conservation de sa biodiversité lié aux différents modes de

cueillette (écimage, arrachage, etc.) et d'autre part le problème de sa production en quantité et en qualité. La conservation de la biodiversité et la production quantitative et qualitative du *Corchorus* pose le problème de sa domestication.

La mise en culture du *Corchorus* nécessite la maîtrise de la densité de peuplement pour assurer une bonne production. Les études préliminaires ont montré que les graines de *Corchorus* ont une grande aptitude à la dormance (Guindo A, 1999).

L'objet de la présente étude est d'explorer les effets de différents prétraitements sur le taux de germination des graines de *Corchorus olitorus*.

II. OBJECTIFS

Objectif général : contribuer à la connaissance de la dormance des graines de *Corchorus olitorus*.

Objectifs spécifiques :

- Etudier la nature de la dormance des graines de *Corchorus olitorus*;
- Déterminer la méthode la plus efficace de levée de la dormance des graines de *Corchorus olitorus*.

III. MATERIEL ET METHODOLOGIE

3.1. Matériel

3.1.1. Matériel technique et produits chimiques:

Dans le cadre de la réalisation de l'étude furent utilisés :

- L'acide chloridrique de concentration initiale de 37% ;
- Des boîtes de pétri ;
- Une étuve pour le traitement thermique par étuvage ;
- Des bocal pour les traitements, les lavages et les rinçages ;
- Des graines de *Corchorus olitorus* d'un an et deux ans ;
- L'alcool à 90° pour le nettoyage ;
- Une machine de comptage de graines « Countamatic » ;
- Des éprouvettes pour les conditionnements de l'acide chloridrique ;
- Une pipette graduée pour mesurer les quantités d'acide chloridrique ;
- Une poire pour aspirer ;
- L'eau pour rincer et humecter les graines en germination ;
- Une pissette ;
- Du papier buvard.

3.1.2. Matériel végétal

Le matériel végétal était constitué des graines de *Corchorus olitorus* de durée d'un an et deux ans.

Toutes les graines ont été vannées, lavées et triées par flottage afin de récupérer les graines bien mûres, lourdes et saines et enfin séchées au soleil.

Les graines ont été conditionnées en lot de 100 graines pour les différents tests.

Les semences d'un an ont été utilisées pour les trois tests tandis que les semences de deux ans ont été utilisées pour le dernier test.

3.2. Méthodologie

3.2.1. Conditions de réalisation des tests de germination

Les tests ont été réalisés au laboratoire d'agro-physio-génétique et de biotechnologies végétales de l'IPR/IFRA de Katbougou.

3.2.2. Test de l'effet de l'acide chloridrique de différentes concentrations et de durées de trempage sur le taux de germination des graines de *Corchorus*.

L'essai est un essai factoriel dont l'acide chloridrique à trois niveaux de concentration (37%, 17,5% et 8,75%) et le trempage à trois durées (60 mn, 90 mn et 120 mn).

Après chaque durée de trempage, les graines ont été bien rincées à l'eau du robinet et mises en germination dans des boîtes de pétri avec un papier buvard au fond et couvertes d'un autre.

Dispositif : le dispositif utilisé est le bloc de Fisher à quatre répétitions

3.2.3. Test de l'effet de différentes durées d'étuvage sur le taux de germination des graines de *Corchorus*.

C'est un essai mono factoriel dans lequel, la durée d'étuvage à cinq niveaux (0 h, 24 h, 72 h, 120 h et 168 h) a été étudiée. Au cours de l'étuvage, la température était maintenue à 60°C.

Le dispositif utilisé est le bloc de Fisher à randomisation totale des 6 répétitions.

3.2.4. Test de l'effet du traitement thermique sur le taux de germination des graines de différentes durées de conservation de *Corchorus*.

C'est un essai factoriel. Le facteur principal est la durée de conservation à deux niveaux (semences d'un an et semences de deux ans) et le facteur secondaire est la chaleur à deux niveaux également (eau bouillante et eau tiède). Pour le facteur thermique, le premier traitement a consisté à bouillir les semences pendant une minute suivi de leur séjour dans l'eau pendant 24h et le second consista à tremper les semences pendant 24 h dans l'eau du robinet.

Le nombre de traitements était égal à 4 (combinaison des deux facteurs : $2 \times 2 = 4$).

Le dispositif utilisé est la randomisation totale des traitements à six répétitions.

3.2.5. Observations

Les observations ont concerné le nombre de graines germées. Les observations ont duré pendant une semaine.

3.2.6. Méthodes d'analyse statistique

Pour les analyses des données expérimentales, le logiciel SATITCF a été utilisé pour l'analyse de la variance, le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a été utilisé pour la classification des moyennes en groupes homogènes et le logiciel Excel pour la représentation graphiques des moyennes.

IV. RESULTATS

4.1. Présentation des résultats

4.1.1. Effet de l'acide chloridrique de différentes concentrations et de durée de trempage sur le taux de germination des graines de Corchorus.

L'analyse de variance de l'effet de l'acide chloridrique de différentes concentrations et de durée de trempage sur le taux de germination des graines de Corchorus a montré une différence très hautement significative non seulement pour la concentration mais également pour la durée de trempage (Tableaux 1).

Tableau 1 : Analyse de variance de l'effet de l'acide chloridrique de différentes concentrations et de durée de trempage sur le taux de germination des graines de Corchorus olitorus

Sources de variation	DDL	CM	Test F	Prob.
Var. Totale	35	174,84		
Var. facteur1	2	2264,36	76,28	0,0000
Var. Facteur 2	2	221,36	7,46	0,0027
Var. F1xF2	4	60,40	2,03	0,1168
Var. résiduelle	27	29,69		

Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a permis de dégager trois groupes homogènes sur l'effet des concentrations sur le taux de germination des graines de Corchorus (tableau 2).

Tableau 2 : Classification par groupes homogènes de l'effet de la concentration sur le taux de germination des graines de Corchorus.

Traitements	Libellés	Moyennes	Groupes homogènes
1	C 1	45,25	A
2	C 2	21,58	B
3	C 2	21,33	C

Le test de Newman et Keuls a permis de dégager trois groupes homogènes sur l'effet de la durée de trempage de l'acide chloridrique sur le taux de germination des graines de Corchorus (tableau 3).

Tableau 3 : Classification par groupes homogènes de l'effet de la durée de trempage sur le taux de germination des graines de Corchorus

Traitements	Libellés	Moyennes	Groupes homogènes
1	T 120 mn	36,00 %	A
2	T 90 mn	28,75 %	B
3	T 60 mn	25,00 %	C

4.1.2. Effet de différentes durées d'étuvage sur le taux de germination des graines de Corchorus.

L'analyse de variance des données sur l'effet de différentes durées d'étuvage sur le taux de germination des graines de Corchorus a révélé une différence très hautement significative (Tableau 4).

Tableau 4 : Analyse de variance des données sur l'effet de différentes durées d'étuvage sur le taux de germination des graines de Corchorus.

Sources de variation	DDL	C.M	Test F	Prob.
V. Totale	19	36,89	-	-
V. Facteur	4	115,55	7,26	0,0019
V.résid.	15	15,92	-	-

Le test de Newman et Keuls a permis de regrouper les moyennes des traitements en deux groupes homogènes (Tableau 5).

Tableau 5 : Classement en groupes homogènes de l'effet de différentes durées d'étuvage sur le taux de germination des graines de Corchorus.

Traitement s	Libellés	Moyenne s	Groupes homogènes
4	T3	34,00	A
5	T4	27,25	B
3	T2	23,00	B
1	T0	22,50	B
2	T1	20,50	B

Après analyse des résultats, le traitement (T3= 5 jours d'étuvage) s'est révélé meilleur aux autres traitements avec un taux de germination de 34%. L'analyse a permis de constater qu'au-delà de 5 jours (T4) l'efficacité de l'étuvage diminue.

4.1.3. Effet du traitement thermique sur le taux de germination des graines de Corchorus de différentes durées de conservation.

L'analyse de variance de l'effet du traitement thermique sur le taux de germination des graines de Corchorus de différentes durées de conservation a montré une interaction très hautement significative entre les traitements thermiques et la durée de conservation des graines de Corchorus (Tableau 6).

Tableau 6: Analyse de variance de l'effet du traitement thermique sur le taux de germination des graines de Corchorus de différentes durées de conservation

Sources de variation	DD L	C.M	Test F	Prob.
V. Totale	23	1756,08	-	-
V. Fact.1	1	38400,00	2651,31	0,0000
V. Fact.2	1	66,67	4,60	0,0423
V. InterF1xF2	1	1633,50	112,78	0,0000
V. Résid.1	20	14,48	-	-

Les moyennes des traitements soumises au test de Newman et Keuls ont permis d'avoir deux (2) groupes homogènes pour le traitement thermique et l'âge des semences (Tableaux 7 et 8) et quatre (4) groupes homogènes pour leur interaction (Tableau 9).

Tableau 7 : Classement par groupes homogènes de l'effet du traitement thermique sur le taux de germination des graines de Corchorus

Traitements	Libellés	Moyennes	Groupes homogènes
1	Eau Bouillante(EB)	90,92 %	A
2	Eau tiède (ET)	10,92 %	B

Tableau 8 : Classement par groupes homogènes de l'effet de l'âge sur le taux de germination des graines de Corchorus

Traitements	Libellés	Moyennes	Groupes homogènes
1	A1	52,58 %	A
2	A2	49,25 %	B

Tableau 9 : Classement par groupes homogènes de l'effet des interactions du traitement thermique et de l'âge sur le taux de germination des graines de Corchorus

Interactions F1 xF2	Libellés	Moyennes	Groupes homogènes
1-2	EB-A2	97,50	A
1-1	EB-A1	84,33	B
2-1	ET-A1	20,83	C
2-2	ET-A2	1,00	D

4.2. Interprétation des résultats

4.2.1. Effet de l'acide chloridrique de différentes concentrations et de différentes durées de trempage sur le taux de germination des graines de Corchorus

L'analyse des résultats a montré que le taux de germination était proportionnelle à la concentration de l'acide chloridrique. Le meilleur de taux de

germination a été obtenu avec la plus forte concentration et le plus faible taux avec la plus faible concentration de l'acide chloridrique.

Quant à la durée de trempage dans l'acide, la plus longue durée de trempage (120mn) a donné le meilleur taux de germination, suivie de 90 mn et 60 mn de trempage.

Les résultats par concentration et par durée de trempage montrent que le meilleur taux de germination des graines de Corchorus a été obtenu avec la plus forte concentration exposée à la plus longue durée de trempage avec une moyenne de 51,5% (37% d'acide chloridrique et 120 mn de trempage) bien que l'interaction entre ces facteurs ait été non significative.

Il a été remarqué que les taux de germination sont restés faibles non seulement pour la concentration mais également pour la durée de trempage et ainsi que l'absence d'interaction entre la concentration et la durée de trempage sur le taux de germination. Il est souhaitable d'utiliser des concentrations plus fortes et des durées de trempage plus longues.

4.2.2. Effet de différentes durées d'étuvage sur le taux de germination des graines de Corchorus

L'analyse des résultats a montré que le taux de germination des graines de Corchorus croît jusqu'à une certaine durée (T3= 5jours) et décroît (7 jours). Dans le présent test également les taux de germination demeurent faibles. Cela peut s'expliquer probablement par le fait de l'étuvage à sec. Le maintien de l'humidité dans l'étuve aurait pu améliorer le taux de germination des graines de Corchorus.

4.2.3. Effet du traitement thermique sur le taux de germination des graines de Corchorus de différentes durées de conservation.

L'analyse des résultats a montré que le traitement thermique (ébullition) a eu plus d'impact sur les taux de germination des semences de deux ans que d'un an avec respectivement 97,50% et 84,33%.

Par contre avec de l'eau tiède (eau du robinet), les semences d'un an ont mieux germé que les semences de deux ans avec respectivement 20,83% et 1%.

De l'analyse de ces résultats, on peut déduire qu'en première année, les graines de Corchorus ont une dormance tégumentaire faible et une dormance embryonnaire forte, ce qui expliquerait un meilleur taux de germination en première année en eau tiède. Par contre en deuxième année, c'est la dormance tégumentaire qui est forte et la dormance embryonnaire faible. L'eau bouillante agissant fondamentalement sur la dormance tégumentaire, a permis d'avoir un meilleur taux de germination des graines de Corchorus de deux ans.

V. CONCLUSION

De l'analyse des résultats des différents tests sur le taux de germination des graines de Corchorus, les

conclusions préliminaires suivantes peuvent être dégagées :

- La dormance des graines de *Corchorus* a une composante tégumentaire et une composante embryonnaire ;
- La composante tégumentaire croît avec la durée de la conservation de la graine ;
- La composante embryonnaire décroît au contraire avec l'âge de la conservation de la graine ;
- Le meilleur traitement pour la levée de la dormance des graines de *corchorus* est l'ébullition des graines dans l'eau pendant une minute suivie de leur séjour de 24 heures dans l'eau courante quelle que soit la durée de l'âge de la conservation des graines de *Corchorus*.

REFERENCES

- [1] Ake A. L. : La diversité génétique des espèces sous exploitées d'Afrique ; In Attente F, Zelon H, N Q, Ng et P, Peri O, Crpo genetic resources of Africa, volume 1 pages 53-58.
- [2] Djeguinabe C. 2014 : Etude comparative de deux écotypes du genre *Corchorus* (*C. olitorus* et *C. fascicularis*) dans les conditions agro-écologiques de Katibougou. Mémoire de fin de cycle IOPR/IFRA, 43 pages.
- [3] Guindo A. 2001 : Contribution à la connaissance botanique de quelques espèces du genre *Corchorus*, à l'estimation de leurs intérêts socio-économiques et de leurs réactions à l'apport du fumier bovin et du phosphate naturel de Tilemsi. Mémoire de fin d'études IPR/IFRA de Katibougou, 76 pages.

Influence de deux dates et de deux densités de semis sur le comportement de huit variétés de quinoa dans les conditions agro-climatiques de l'IPR/IFRA de Katibougou

Zoumana BENGALY¹, Abdoul MALLE², Ousmane NIANGALY², Aly SANGARE³, Laya KANSAYE³, Ntò COULIBALY³, Amadou Konotié COULIBALY^{4*}

¹Externe du laboratoire

²Laboratoire de Physiologie Végétal et de Biotechnologies

³Laboratoire de Biologie des Arthropodes et de Lutte Intégrée

⁴Responsable Laboratoire de Biologie des Arthropodes et de Lutte Intégrée

*Adresse de correspondance : akonotie@yahoo.fr

RESUME: Le quinoa communément appelé « riz ou blé des incas » est culture nutraceutique traditionnelles des Andes avec une teneur plus élevée en acides aminés rares dans les autres et qui sont présents sous une balance bien équilibrée céréales. L'essai a été installé dans le potager de l'IPR/IFRA de Katibougou, et portait sur huit variétés de quinoa (BOL, VI-1, UDeC-9, REGALONA, PRJ, PRP, BO78 et BO25). Elles ont été semées respectivement à deux dates et deux densités de semis (0,40m x 0,05m et 0,40m x 0,10m) avec un intervalle de dix jours (20/11 et 01/12/2014). Des tests d'adaptation de huit variétés de quinoa en fonction des deux dates et densités de semis, pendant la période fraîche dans les conditions pédoclimatiques de Katibougou.

Ainsi, nous retenons qu'en ce qui concerne les résultats des observations agronomiques, les données ont été très hétérogènes. Ces observations ont été effectuées sur les mesures du diamètre au collet, à la hauteur de la tige, le nombre de ramifications et des paramètres des feuilles. Cependant on peut affirmer qu'à la phase de croissance, toutes les données collectées étaient meilleures avec la première date de semis et indépendamment des deux densités. A la phase de la maturation, les données sont plus élevées à la deuxième date et encore indépendamment des deux densités. La pression entomologique a été légèrement forte. Seuls quelques individus ont été enregistrés. La plupart de ceux-ci appartenaient majoritairement aux groupes des piqueurs suceurs. On a pu noter la présence d'ennemis naturels comme de certains ravageurs. Toujours par rapport aux observations entomologiques, seuls quatre insectes phytophages nous ont paru importants comme ennemis du quinoa : *Zonocerus variegatus*, *Bemisia tabaci*, *Aphis sp* et les *Probosciodoris sp*. Parmi les insectes entomophages, ce sont les Coccinellidae seulement qui ont présenté une population significative. Le traitement effectué avec une formulation de bio pesticide contre *Z. variegatus* a donné des effets positifs en réduisant de façon drastique l'effectif de la population (avec 15% de mortalité et 100 % de répulsion pendant une semaine). Alors nous sommes en droit de dire que la formulation a eu une bonne activité efficace contre cet insecte. De l'estimation du cycle végétatif des différentes variétés testées, la majorité ont un cycle court de 90 jours, (BOL, VI-1, UDeC-9, REGALONA, PEJ et PRP) et un cycle moyen de 110 jours pour BO78 et BO25. Les rendements obtenus cette année ont été en dessous de ceux des années précédentes. Cependant l'espoir est permis par rapport à la réussite de cette culture dans nos conditions. Car au cours de la même campagne dans les mêmes conditions avec deux autres dates de semis et deux autres densités les résultats enregistrés en ce qui concerne les rendements théoriques (poids panicules rapporté à l'hectare) variaient entre 6 - 9 T pour la 1^{ère} date (1^{er} décembre 2015) contre 1,5 - 2 T pour la 2^{ème} date (10 décembre 2015). (résultats non publiés). Ce sont les variétés (Bo78) première date et densité 5cm et (UDeC-9) première date et densité 10cm qui ont fourni un rendement supérieur ou égal à 1T/ha et la variété (Bo25) n'a donné que 0,32T/ha le rendement absolument le plus bas enregistré au cours de ces dernières années d'expérimentation.

Mots clés : Quinoa, variétés, adaptation, dates, écartements, insectes, rendements.

I INTRODUCTION

Domestiqué il y a 7.000 ans environ dans les Andes (Del Castillo, 2008), le quinoa communément appelé "riz des Incas" ou "blé des Incas" est une culture vivrière du peuple de l'Amérique du Sud et demeure aujourd'hui encore un aliment de base pour les populations locales. C'est une plante herbacée de la famille des Chenopodium. Il ne s'agit pas d'une céréale au sens botanique du terme mais plutôt d'une

sorte d'épinard sauvage, une plante dicotylédone (Jancurová, 2009). Elle est toutefois consommée comme une céréale et l'on parle alors de pseudo-céréale.

Ses vertus thérapeutiques, sa haute teneur en protéines, sa composition équilibrée en acides aminés, son contenu élevé en minéraux essentiels, lipides, antioxydants et vitamines, et son absence de gluten (Chauhan et al. 1992) font que sa culture intéresse le monde entier. Depuis les années 1980, le

quinoa a connu un nouvel essor avec l'augmentation de la demande régionale et internationale (Bazile, 2013).

Cultivé dans des milieux aussi divers que le littoral du Pacifique, l'Altiplano central ou les vallées subtropicales des Andes, il est maintenant disseminé à travers plus de cinquante pays dans le monde (Del Castillo, 2008).

Sa grande diversité génétique lui permet de s'adapter à divers types de sol, notamment les sols salins, et à des milieux couvrant de larges gradients d'humidité de 40 à 90 %, d'altitude de 0 à 4 500 m et de température de - 8 °C à 38 °C (Bazile, 2013). Cette grande adaptabilité a permis à la culture du quinoa de s'étendre désormais hors des Andes : on la retrouve aux États Unis, au Canada, en France, au Pays-Bas, au Royaume-Uni, au Mali et en Inde (Kaze, 2013).

Ainsi l'objectif général de cette étude est de comprendre le comportement de la culture vis-à-vis des ravageurs en fonction de la date et de la densité de semis dans la zone agro écologique de Katibougou.

Hypothèse : Quinoa s'adapte aux conditions de production légumière

Objectif général:

-Contribuer à la sécurité alimentaire au Mali.

Objectifs spécifiques :

- Déterminer la période propice de semis ;
- Déterminer la meilleure densité de semis ;
- Identifier les ravageurs potentiels de la culture et les ennemis associés ;
- Identifier les variétés plus productives en fonction des dates de semis;

II. MATERIELS ET METHODOLOGIE

Huit variétés de quinoa ont été utilisées dans cet essai et ce sont: Bol, VI-1, UDeC-9, REGALONA, PRJ, PRP, BO-78 et BO-25.

Parcelle expérimentale

L'essai occupe une superficie totale de 160 m² et subdivisée en huit parcelles élémentaires (planches) de 20 m² (10m x 2m). Sur chaque planche se trouve une variété semée à deux dates et deux densités (40cm x 5cm et 40cm x 10cm) soit 4 lignes /planche.

Préparation du sol :

L'aménagement du sol a consisté au nettoyage des résidus végétaux, à délimiter la parcelle par la méthode 3- 4 -5, suivi de la confection des planches. Les planches ont 10 m de long et 2 m de large, soit 20 m². Ensuite les planches ont été humidifiées, creusées et nivelées de façon à créer les conditions d'un bon lit de semis. Chaque planche a reçu 16 Kg de fumure organique, ce qui équivaut à 8 T/ha.

Semis :

Nous avons procédé à un semis direct en ligne continue dans des sillons tracés par un rayonneur. Il a été effectué le 20 novembre et le 01 décembre 2014 avec un intervalle de 10 jours entre les deux dates. Les lignes de semis sont équidistantes de 40cm, Le semis a été fait à une profondeur moyenne de 1 à 2 cm. Les

graines ont été dispersées dans les sillons. Le taux de germination a été entre 54 à 76%.

Eclaircissement et regarnissage :

Le 27 décembre 2013 on a procédé à l'éclaircissement et au regarnissage des lignes de semis en respectant l'écartement de 5cm entre les plants. Par ailleurs cette opération a permis un meilleur développement des plants dans les planches. Les plants en surnombre ont servi à repiquer d'autres planches hors de la parcelle d'observation. Notons que le quinoa répond bien aux repiquages car le taux de reprise est d'environ 99 %.

Les opérations d'entretien:

La première opération a consisté à faire un sarclo-binage avec des binettes 15 jours suivant la germination. Cette activité avait pour but de limiter la concurrence entre les plants et les mauvaises herbes pour les éléments nutritifs et l'eau. Un autre objectif était aussi d'aérer le sol afin de permettre la croissance et le développement harmonieux des plants. Au total 3 sarclo-binage ont été effectués entre le 17 décembre 2014 et le 17 janvier 2015. Cependant le *Cyperus rodonthus* a été un peu difficile à maîtriser car il faudrait l'extirper jusqu'aux rhizomes.

Du semis à la germination et au stade de jeunes plants l'apport d'eau se faisait à l'aide des arrosoirs (à cause de la fragilité des plants) au rythme d'irrigation d'une fois tous les 5 à 7 jours. Cette fréquence a été maintenue pendant toute la phase de croissance jusqu'en début floraison au cours de laquelle, à cause des exigences physiologiques de la floraison et de formation des graines, le rythme d'irrigation a été ramené à quatre jours.

3. Observations agronomiques :

Elles ont porté essentiellement sur les aspects morphogénétiques, particulièrement sur la phénologie. et a porté sur les paramètres tels que: le diamètre au collet, la hauteur de la tige principale, les dimensions des feuilles (longueur, largeur et nombre de lobe), le nombre des feuilles, le nombre des branches fructifères, les dimensions de la panicule (longueur, largeur), les dimensions du système racinaire (longueur de la racine principale, nombre de racine secondaire, sa couverture).

Toutes ces mesures et observations ont été réalisées sur 12 plants pris au hasard sur le long des 4 lignes de chaque date et densité de semis par planche. Ces mêmes plants ont été cravatés afin de les distinguer des autres. Au total 3 observations ont été faites (préfloraison, floraison, maturité). Pour ces mesures biométriques, nous avons utilisé le pied à coulisse pour mesurer le diamètre au collet et un mètre ruban ou une règle pour la mesure de la taille des plants.

4. Observations entomologiques :

Ces observations entomologiques ont été effectuées dans trois carrés délimités dans les 4 lignes de chaque date et densité de semis par variétés. C'est au cours des observations hebdomadaires que nous identifions les différents groupes d'insectes (phytophages, entomophages), leur nombre et leur localisation sur

les organes de la plante. Les échantillons collectés et mis dans des boîtes de pétri ou dans des tubes à essai sont amenés au laboratoire pour approfondir les études de détermination. Au total sept observations ont été menées entre le 4 janvier au 15 février 2015.

III. RESULTATS

Observations agronomiques

La préfloraison :

- Le diamètre moyen au collet des plants à la préfloraison

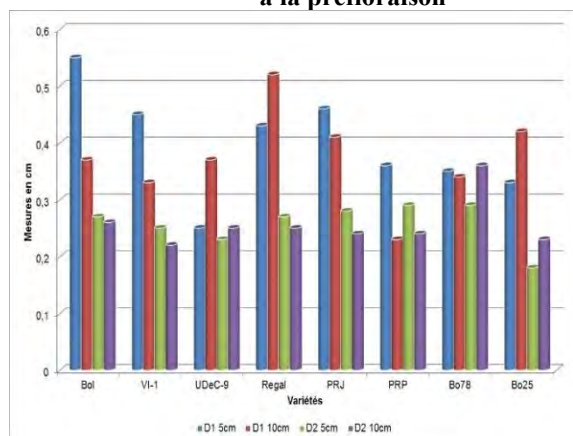


Figure 1 : Diamètre moyen au collet selon les dates et les densités:

En confrontant la densité en fonction des deux dates on remarque qu'à la première date au niveau de la densité 5cm les plants étaient plus vigoureux chez toutes les variétés par rapport à la deuxième date. Les variétés émergentes étaient dans l'ordre Bol, PRJ, VI-1 et Regalona à la première date tandis qu'à la deuxième date l'écart n'était pas considérable entre les plants des diverses variétés exception faite de Bo25 qui présentait les plants les plus chétifs et de UDeC9 qui a sensiblement conservé sa vigueur au deux dates (fig. 1). Quand à la densité 10cm la situation est quasiment identique exception faite de PRP où les plants des deux dates ont les mêmes vigueurs. Dans ce cas les plants les plus robustes ont été rencontrés à la première date chez Regalona, Bo25, PRJ tandis que les autres variétés présentaient les plants presque identiques en vigueur (fig.1). Si l'on considère le diamètre en fonction de la densité de semis à la même date on se rend compte qu'à la première les plants de la densité 5cm battent ceux de celle de 10cm exception faite de UDeC9, Regalona et de Bo25. Le diamètre se conserve presque chez Bo78 sur les deux densités. En revanche au niveau de la deuxième date les variétés se sont comportées de manière presque identique à la première date (fig.1). D'une façon générale les variétés les plus performantes selon les dates et les densités de semis ont été la Regalona et la PRJ presque identiques et les plus chétives ont été les PRP et UDeC-9.

- La Taille moyenne des plants à la préfloraison

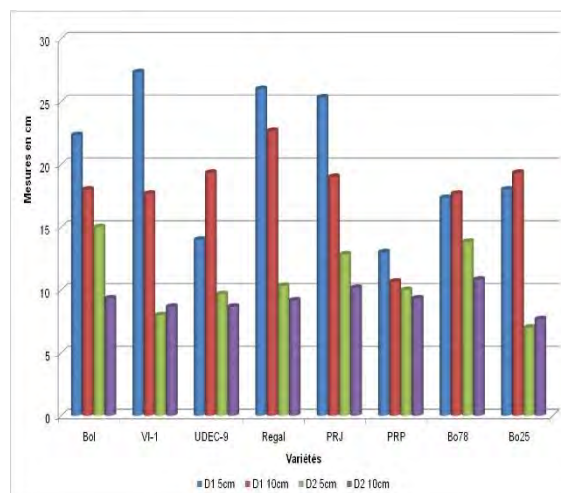


Figure 2 : Taille moyenne des plants selon les dates et les densités :

En ce qui concerne la taille moyenne des plants en fonction de la densité 5cm et au deux dates de semis, les plus grands plants ont été ceux de la première date de semis avec respectivement les variétés VI-1, Regalona, Bol qui se sont distinguées, au même moment les plants de Bo78 et de Bo25 ressortaient avec presque la même taille, ceux de UDeC9 battaient PRP qui a donné des plants les plus courts en taille. Au niveau de la densité 10cm les plants de la première date dominant largement ceux de la deuxième date respectivement chez les variétés Regalona, Bo25, UDeC9 et PRJ tandis que les autres avaient sensiblement les plants de même taille. Au regard de la deuxième date les variétés Bol, Bo78, PRJ sont émergées avec les plus grandes tailles, tandis que UDeC9, PRP, Regalona avaient sensiblement la même taille et Bo25 avait les plants les plus courts (fig.2). A la même date de semis les plants de plus haute taille ont été obtenus sur la densité 5cm avec les deux dates de semis. Ainsi les variétés de plus grandes en taille ont été la PRJ et la Regalona et les plus courtes tailles de plants sont obtenues avec la PRP (fig.2).

Autrement la croissance a été plus active au niveau de la première date aux densités (5cm) et (10cm) et elle a été moins importante à la deuxième date avec les mêmes densités.

- Le nombre moyen des branches à la préfloraison

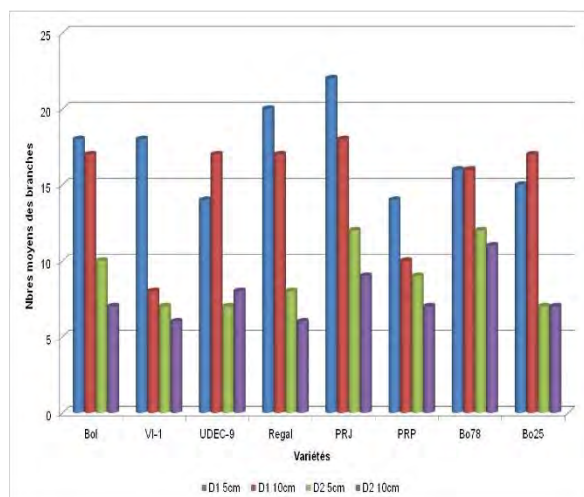


Figure 3 : Nombre moyen de branches selon les dates et les densités :

A la préfloraison il y'a eu un début de formation des rameaux au niveau des différentes variétés. Ainsi elle a été plus importante chez les plants de toutes les variétés à la 1^{ère} date de semis avec la densité 5cm et le bon comportement a été observé chez les variétés PRJ, Regalona, VI-1 et Bol, Bo78 (fig.3). Au niveau de la deuxième date avec toujours 5m ce sont respectivement PRJ et Bo78, Bol PRP qui ont donné plus de ramification. Par contre avec la densité 10cm les plants de la première date ont aussi dominé largement ceux de la deuxième date, à ce niveau les variétés PRJ, Bol, Regalona, Bo25, UDEC9 et Bo78 ont quasiment les mêmes comportements. Seules PRP et VI-1 sont en retrait (fig.3). A la deuxième date la meilleure performance est observée chez Bo78 et PRJ les autres ayant sensiblement le même nombre de rameaux (fig.3). En comparant la formation des branches selon les deux densités à la même date de semis on s'aperçoit à quelques exception près que c'est la densité 5cm qui a donné plus de branches que la densité 10cm tant à la première date qu'à la deuxième (fig.3).

En fonction des dates et densités de semis, la ramification a été plus importante dans la première date densité (5cm) de PRJ et Regalona, tandis que les faibles sont au compte de la deuxième date de VI-1 et BO25.

- La formation des feuilles à la préfloraison

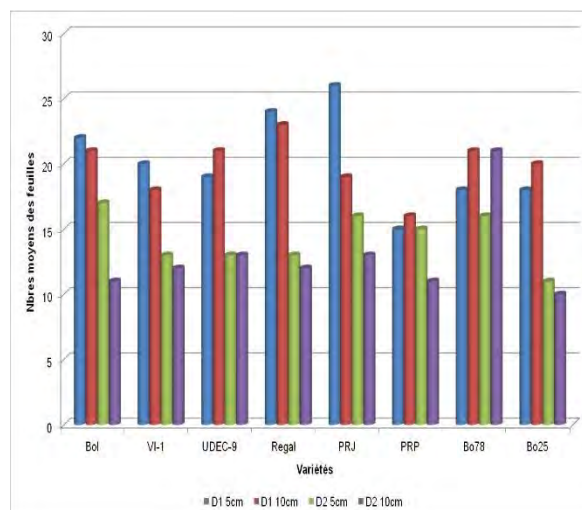


Figure 4 : Nombre moyen de feuilles selon les dates et les densités de semis :

La comparaison de la formation des feuilles chez les différentes variétés de quinoa à la préfloraison en fonction des deux dates nous renseigne que les 1^{ères} dates ont fourni plus de feuilles que les 2^{èmes} dates. Cette formation a été la plus abondante avec la densité 5cm chez les variétés PRJ, Regalona à la première date et Regalona, UDEC9, Bol, et Bo78 pour 10cm toujours à la première date (fig.4). A la deuxième date les variétés Bol, PRJ, et Bo78 sont les plus feuillues sur la densité 5cm et sur 10cm Bo78 est la plus feuillue les autres ayant sensiblement le même nombre de feuilles. Exceptionnellement chez les variétés et UDEC-9 les densités 10cm ont dominé les densités 5cm en formation des feuilles (fig.4).

La fluctuation de la feuillaison n'a pas été importante entre les densités de la 2^{ème} date de semis. Toutefois la biomasse a été globalement plus importante chez Bol et moins importante chez BO25.

Observations agronomiques à la floraison :

- Le diamètre moyen au collet à la floraison

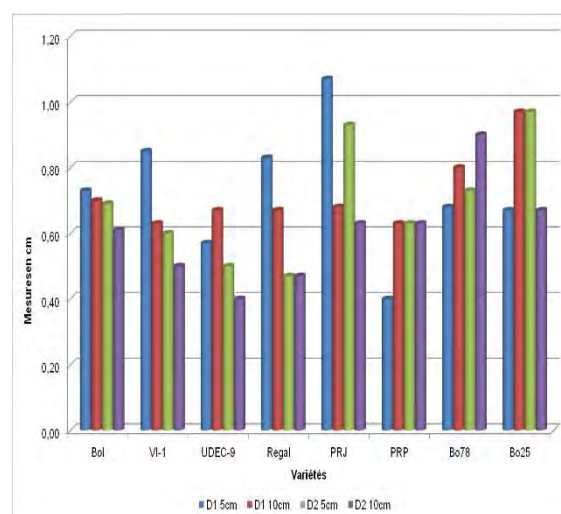


Figure 5 : Diamètre moyen au collet selon les dates et les densités de semis :

L'analyse graphique du diamètre au collet à la floraison des 8 variétés de quinoa en fonction des deux dates de semis et deux densités révèle qu'à la première date de semis et avec 5cm d'écartement les variétés PRJ, VI-1 et Regalona, Bol et UDeC9 ont présenté les plus gros calibres. Par contre les plus gros calibres se rencontraient chez Bo25, PRJ, Bo78 et Bol avec le même écartement à la deuxième date de semis (fig.5). Les plants chétifs se sont rencontrés avec cet écartement au niveau de la variété PRP pour la première date et Regalona pour la seconde. Au niveau de l'écartement 10cm la première date a fourni des plants plus robustes chez toutes les variétés exception faite de Bo78 et de PRP chez laquelle les deux dates ont même calibre (fig.5).

Dans ce cas les gros plants sont chez Bo25 avec (5cm) et 10cm et PRJ avec 5cm aux deux dates et les plus chétifs sont chez UDeC9 à la deuxième date de la densité (10cm).et PRP à la première date sur 5cm (fig.5).

- La taille moyenne des plants à la floraison

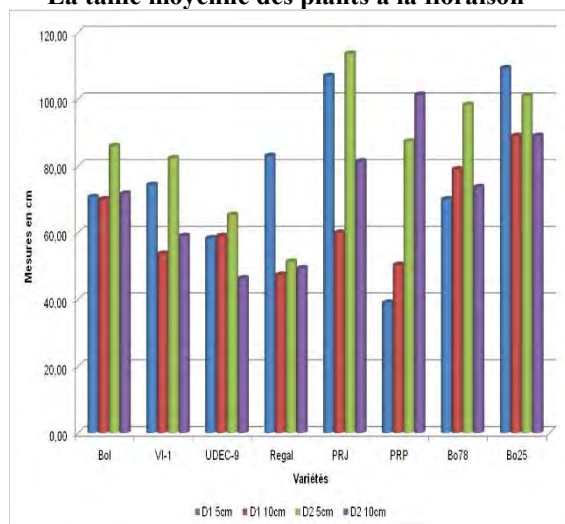


Figure 6 : Taille moyenne des plants selon les dates et les densités de semis :

A la floraison la hauteur des variétés de quinoa a une grande diversification selon les dates et les densités de semis. En considérant les dates nous constatons avec la densité 5cm les plants de la deuxième date sont les plus hauts chez presque toutes les variétés exception de Regalona et de Bo25 où la première date a donné des plants plus développés. Les variétés performantes ont été PRJ et Bo25 tant à la première qu'à la seconde date, ensuite Bo78, PRP, Bol et VI-1 avec la deuxième date ; Regalona a donné des plants de plus petite taille avec la deuxième date (fig.6). Au niveau de l'écartement 10cm les plants de la deuxième date sont hauts chez presque toutes les variétés exception de UDeC9 et Bo78 où les plants sont plus hauts avec la première date (fig.6). Dans ce cas les variétés émergentes ont été Bo25, Bo78, PRJ et Bol au deux dates et aux deux densités (Fig.6). Il y a eu toutefois presque uniformité de taille des plants chez BOL, UDeC-9, VI-1, BO25 et Bo78.

D'une manière générale, la taille des plants a été plus dominante sur l'écartement 5cm chez la plupart des variétés surtout à la deuxième date de semis exception faite de PRP.

- Nombre moyen de branches à la floraison

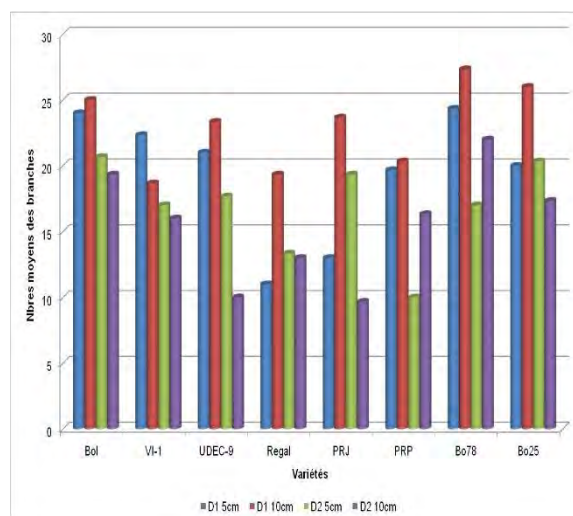


Figure 7 : Nombre moyen de branches selon les dates et les densités de semis :

En considérant la formation de branches en fonction des deux dates de semis et les deux densités on se rend compte que sur l'écartement 5cm la première date a donné plus d'éléments dans la majorité des cas. En cela seules Regalona et PRJ sortent de la règle ; Bo25 ayant conservé le même nombre dans les deux situations. Les variétés plus ramifiées ont été Bol, Bo78, VI-1, UDeC9. A la deuxième date Bol, Bo25 et PRJ ont été suffisamment ramifiées. Sur l'écartement 10cm la première date a présenté les plants plus ramifiés chez toutes les variétés avec en tête Bo78, Bo25, Bol, PRJ et UDeC9 (fig.7). Avec la deuxième date les plants plus ramifiés s'observent chez Bo25, Bol, PRJ. Les variétés comme Bo25, Bo78, Bol et VI-1 ont présenté une bonne frondaison dans les deux situations.

Considérant la 1^{ère} date de semis, on se rend compte que la densité 10cm a été plus ramifiée que la densité 5cm chez toutes variétés avec la BO78 (27 branches) en tête suivie de près par la BO25 (26 branches) ; seule la VI-1 a eu plus de branches avec la densité 5cm.

En général suivant les deux dates de semis et les deux écartements le nombre moyen de ramification a été plus important dans la première date avec l'écartement (10cm).

- Nombre moyen des feuilles à la floraison

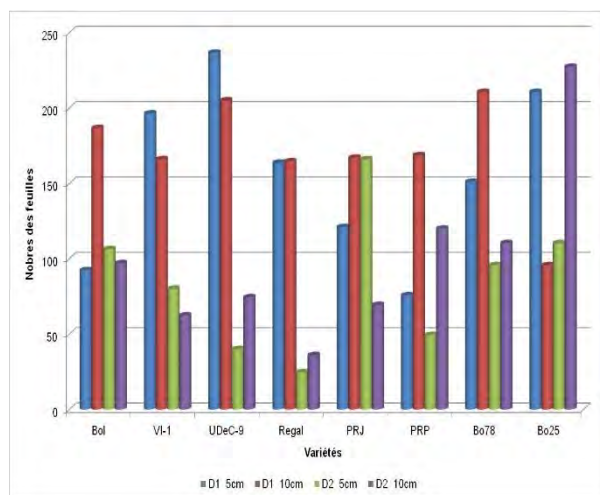


Figure 8 : Nombre moyen de feuilles selon les dates et les densités de semis :

Le nombre moyen de feuilles suivant les deux dates de semis et les deux écartements, la quasi-totalité des variétés ont porté suffisamment de feuilles à la 1^{ère} avec 5cm comme écartement exception faite de Bol et PRJ. Dans ce cas les variétés comme UDeC9, Bo25, VI-1 sont apparues plus feuillues (fig.8). Par contre avec l'écartement 10cm les plants de la première date sont restés largement plus garnis chez toutes les variétés exception faite de Bo25 chez laquelle les plants de la deuxième date ont largement dominé ceux de la première (fig.8). On remarque que chez la Regalona et UDeC-9 la date de semis a influencé considérablement sur la production des feuilles et qui a été très faible avec la deuxième date (fig.8).

D'une manière générale la biomasse a été plus importante avec la première date tant aux écartements 5cm et 10cm ; Bo25 et PRJ constituant l'exception à ce comportement général des variétés (fig.8).

Paramètres des feuilles :

- Longueur moyenne des feuilles

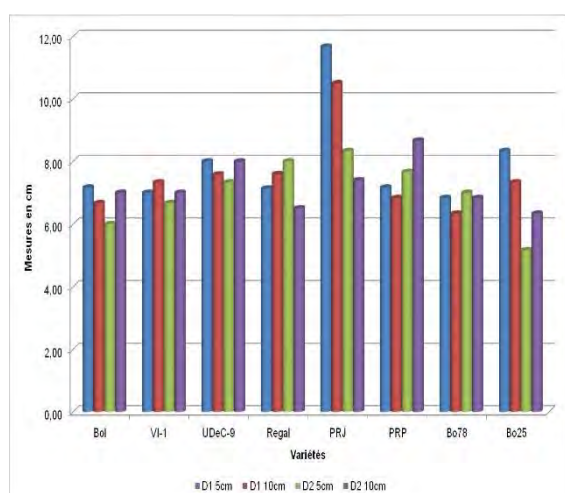


Figure 9 : Longueur moyenne des feuilles selon les dates et les densités de semis :

Toutes les variétés ont sensiblement des feuilles de longueur identique avec les deux dates de semis et les deux écartement (7cm) sauf chez la PRJ qui en a plus de 10 cm de long avec la première date de semis (fig. 9).

- Largeur moyenne des feuilles

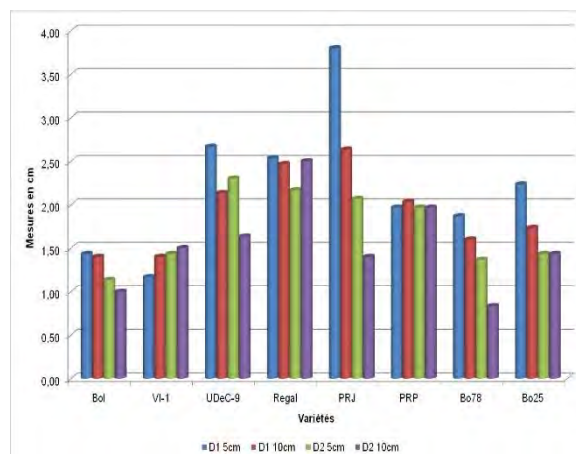


Figure 10 : Largeur moyenne des feuilles selon les dates et les densités de semis :

La largeur des feuilles n'est pas identique chez toutes les variétés en fonction des deux paramètres. Elle n'est pas non plus identique chez la même variété et en fonction des paramètres utilisés. Les feuilles des premières dates sont plus larges sans distinction d'écartement. Cependant la tendance est en faveur de l'écartement 5cm avec la première date de semis. Les variétés PRJ, Regalona et UDeC9 ont produit des feuilles plus larges (fig.10).

Toutefois PRP a présenté des plants avec un feuillage uniforme indépendamment des paramètres considérés.

- Nombre moyen de lobes des feuilles

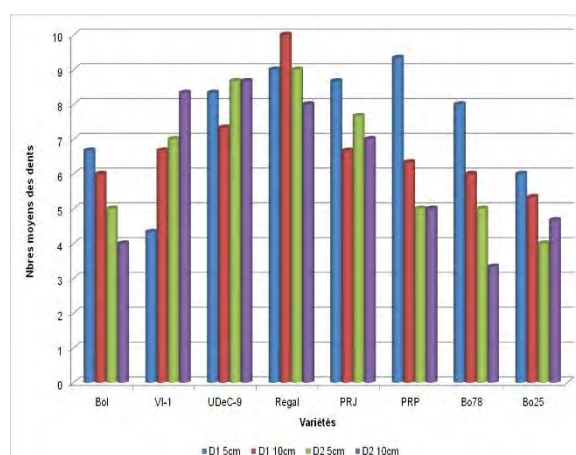


Figure 11 : Nombre moyen de lobes des feuilles selon les dates et les densités de semis :

L'architecture foliaire a été la plus variée au niveau des différentes variétés selon que l'on considère les dates ou les densités de semis. Elle a été la plus uniforme chez les variétés UDeC-9 et Regalona qui

ont le nombre plus élevé de lobes, le plus petit nombre étant observé chez Bo25 et Bol. Toutefois on a l'impression que la tendance est en faveur de la première date surtout avec la densité 5cm (fig.11). En revanche sur 10cm la structure ne semble obéir à aucune règle. Ainsi ce caractère n'est pas un élément absolument distinctif des variétés.

- Longueur moyenne du pétiole des feuilles

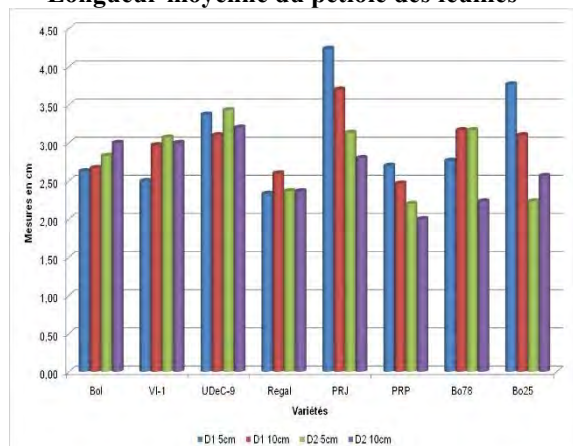


Figure 12 : Longueur moyenne du pétiole selon les dates et les densités de semis :

La longueur du pétiole ne présente pas une grande variabilité non seulement chez les variétés en fonction des dates de semis et les écartements mais aussi entre les variétés. Toutefois PRJ renferme des pétioles légèrement longues avec la première date et les deux écartements tandis que Regalona et PRP en ont un peu plus court (fig.12).

Maturation et récolte

- Diamètre au collet à la maturation

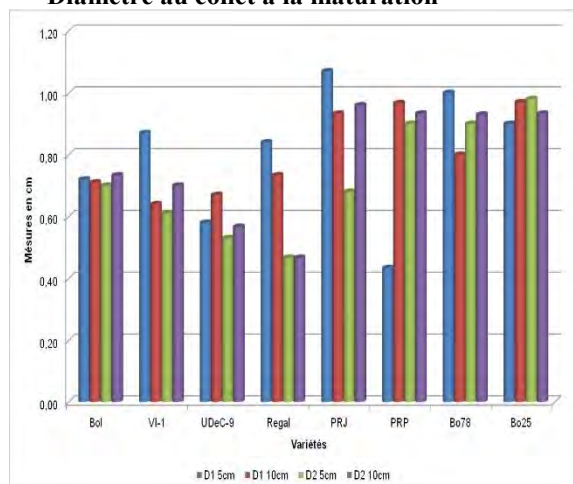


Figure 13 : Diamètre moyen au collet selon les dates et les densités de semis :

A la maturité le diamètre au collet sur l'écartement 5cm est en faveur de la première date à l'exception de PRP où la seconde date dominée largement la première ; pendant ce temps Bol et Bo25 ont conservé leur diamètre et même sur 10cm. Dans cas les variétés émergentes ont été PRJ, Bol, Bo25, VI-1 et Regalona

à la première date tandis qu'à la deuxième date on Bo25, PRP et Bo78 (fig. 13). Sur 10cm la tendance est du côté de la première date avec quatre variétés dont PRP la plus performante tandis que Bo25, PRJ, et Bo25 (les plus performantes) ont conservé leur diamètre aux dates (fig.13).

D'une manière générale, la première date et la densité (5cm) PRJ et Bo78, Bo25 et la deuxième date PRP, PRJ, Bo25, Bo78 ont présenté les plus gros calibres.

- Tailles moyennes des plants

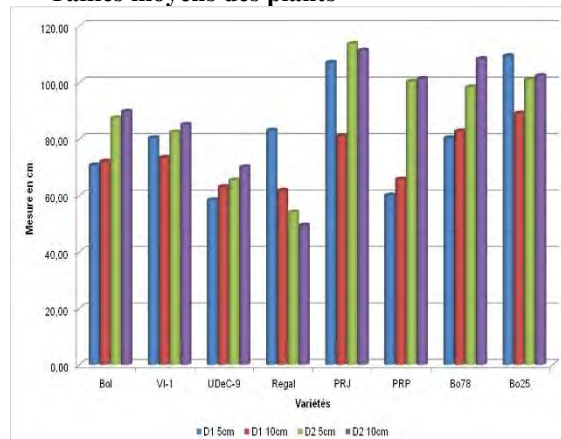


Figure 14 : Taille moyenne des plants selon les dates et les densités de semis :

La hauteur moyenne des plants des 8 variétés de quinoa à la maturation en fonction du couple dates de semis et densité de peuplement indique que toutes les variétés ont acquis la plus haute taille à la deuxième date de semis aussi bien avec la densité (5cm) qu'avec celle de (10cm). Ainsi les variétés ont été respectivement PRJ, PRP, Bo78, Bol, VI-1 avec 5cm à la deuxième et PRJ, Bo78, Bo25, PRP et Bol et VI-1 avec 10cm toujours à la deuxième date (fig.14). Les plants des variétés Regalona et Bo25 ont dominé à la première date ceux de la deuxième date sur densité 5cm (fig.14). On remarque dans ce dernier cas, c'est à dire à la première avec 5cm, un bon comportement de Bo25 et de PRJ. Les variétés courtes de taille ont été UDeC9 et Regalona sans distinction des deux paramètres (fig.14)

- Longueur moyenne des panicules

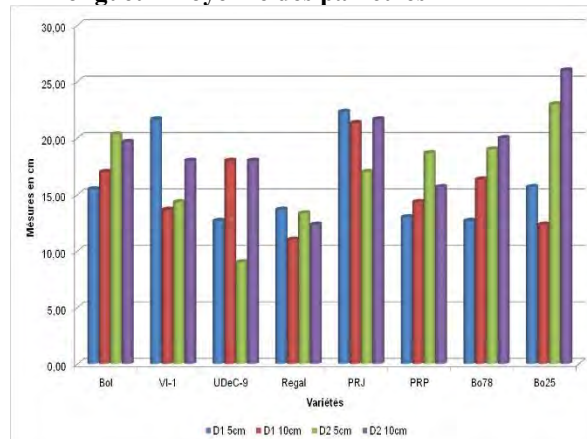


Figure 15 : Longueur moyenne des panicules selon les dates et les densités de semis

La longueur des panicules en fonction des deux paramètres a été assez hétérogène et ne semble correspondre aucune règle. Toutefois on relève qu'à la première date avec 5cm les plants de quatre variétés ont dominé ceux de la deuxième date. Il s'agit respectivement de PRJ, VI-1, UDeC9 et Regalona. Toujours avec la même densité (5cm), à la deuxième date les plants des variétés qui ont dominé ceux de leur première date sont dans l'ordre Bo25, Bol, Bo78, et PRP (fig.15). En revanche sur la densité 10cm avec la deuxième date quasi toutes les variétés ont dominé leur première date. La meilleure performance est obtenue respectivement avec Bo25, PRJ, Bo78, Bol et qui ont en général, y compris VI-1, porté les plus longues panicules taille (fig.15). Cependant la plus courte panicule fut rencontrée chez UDeC-9 à la deuxième date avec densité (5cm).

- Diamètre moyen des panicules

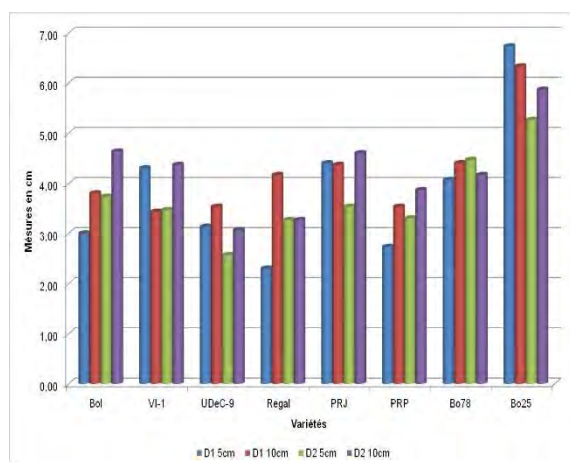


Figure 16 : Diamètre moyen des panicules selon les dates et les densités de semis :

La circonférence des panicules au regard des deux paramètres expérimentés indique que sur la densité 5cm les plants de quatre variétés ont atteint des grands diamètres à la première date. Ce sont respectivement Bo25, PRJ, VI-1, et UDeC9. Tandis qu'à la deuxième date les variétés de diamètres sont Bo25, Bo78. Et Bol (fig.16). Sur la densité 10cm la moitié des variétés ont porté de panicules de grosse circonférence sans être absolument les plus grosses à la deuxième date. Citons en dans l'ordre Bol, PRJ, VI-1, PRP, tandis qu'à la première date où existe les plus gros calibres, nous Bo25, Bo78, PRJ et Regalona (fig.16). D'une manière général les grosses panicules sont chez Bo25, Bo78, PRJ, Bol et VI-1 tandis que les petites sont portées par PRP et UDeC9 (fig.16).

Longueur moyenne de la racine principale

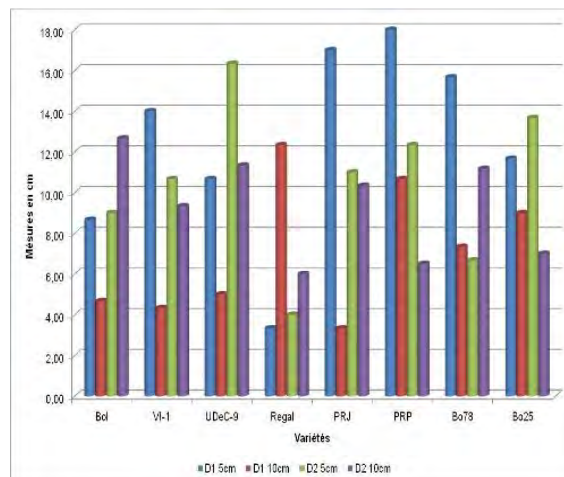


Figure 17: Longueur moyenne de la racine principale selon les dates et les densités de semis :

En considérant la longueur moyenne des racines principales à la maturité en fonction des deux dates et deux densités, on se rend compte que sur 5cm la moitié des variétés ont eu l'enfoncement le plus profond avec la première date et ce sont les variétés PRP, PRJ, Bo78, VI-1 qui ont présenté les plus longues racines pivotantes. Cependant sur la même densité et avec la deuxième date les variétés comme UDeC9, Bo25 et PRP ont aussi eu un enfoncement appréciable (fig.17). En revanche sur 10cm l'enfoncement est relativement moindre que sur 5cm et la majorité des variétés ont eu des racines pivotantes plus profondes avec la deuxième date. Seules Regalona et PRP en ont eu à la hauteur de la moyenne avec la première date (fig.17). Remarquons que les racines principales peu profondes sont observées chez Regalona (5cm) première date et PRJ (10cm) première date (fig.17).

La couverture racinaire des variétés

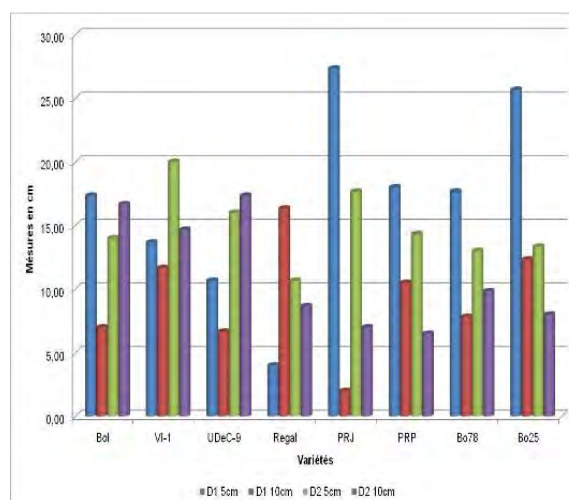


Figure 18 : Couverture des racines de quinoa selon les dates et les densités de semis :

La couverture racinaire c'est-à-dire la longueur des racines adventives des différentes variétés en fonction des deux paramètres a montré que sur 5cm la majorité des variétés ont eu le maximum d'exploration du sol

à la première date. Il s'agit dans l'ordre de PRJ, Bo25, PRP, Bo78, Bol. Toujours sur 5cm à la deuxième VI-1, UDeC9, PRJ ont eu des valeurs relativement bonnes mais tout de même en dessous de la première date (fig.18). Sur 10cm la majorité des variétés ont acquis des racines secondaires plus longues avec la deuxième date mais avec des valeurs dans la moyenne générale. Il s'agit de UDeC, Bol, VI-1. Avec la première date Regalona, Bo25, PRP rentrent dans ce lot (fig.18).

Les plus faibles couvertures se rencontrent avec la PRJ sur 10cm et la Regalona sur 5cm tous de la première date de semis.

- Nombre moyen des racines secondaires

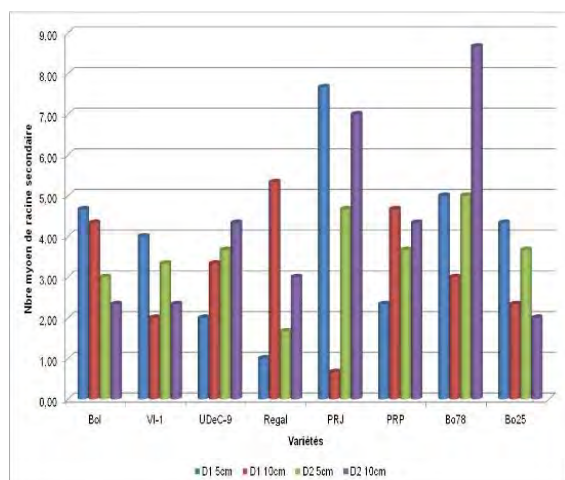


Figure 19 : Nombre moyen des racines secondaires selon les dates et les densités de semis :

La richesse des plants en racines secondaires a extrêmement varié en fonction des dates de semis et les écartements. Avec la première date et sur 5cm les variétés PRJ, Bo78, Bol ont eu le plus grand nombre tandis qu'à la seconde date ce sont PRJ, Bo78, Bo25 mais leur nombre est inférieur à ceux de la première date. Sur 10cm c'est la deuxième date qui l'emporte chez PRJ, Bo78, UDeC9 (fig.19) tandis qu'à la première Regalona, PRP et Bol mais avec un nombre en dessous de la deuxième date (fig.19). Remarquons que PRJ et Regalona de la première date avec 10cm et 5cm n'ont fourni qu'une racine secondaire.

- Poids moyens de résidu par panicule

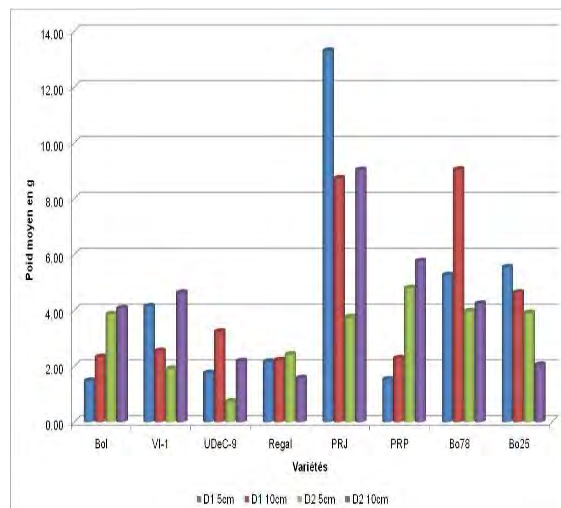


Figure 20 : Poids moyen de résidu par panicule selon les dates et les densités de semis :

A la récolte après vannage la formation le poids du résidu a été très faible et varié chez les différentes variétés. C'est seul PRJ qui a eu des poids assez élevés avec les deux paramètres. Bo78 a également plus ou moins réagit dans le même sens surtout avec la première date sur 10cm (fig.20) D'une manière générale le poids des résidus de la panicule à la première et deuxième date de la densité (10cm) de PRJ est supérieur à celui des autres. Les plus faibles ont été obtenus avec UDeC-9, Regalona, PRP et Bol en considération des différents paramètres (fig.20).

- Poids moyens des graines des panicules

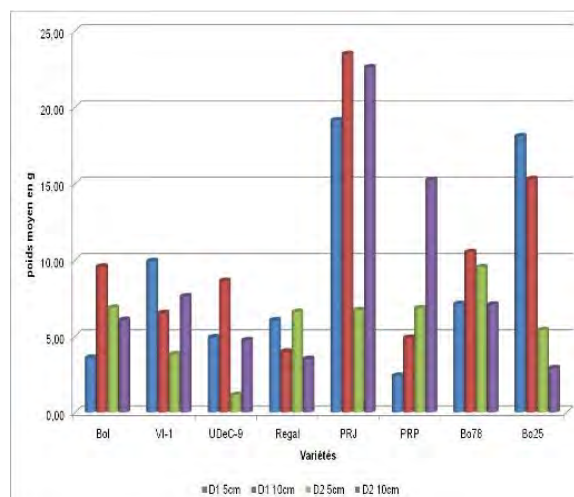


Figure 21 : Poids moyen des graines par panicule selon les dates et les densités de semis :

Les poids des graines a subi beaucoup de variations suivant les dates et les densités. Sur l'écartement 5cm et avec la première date de semis, les variétés PRJ, Bo25 et VI-1 ont donné des panicules riches en graines (de 10 à 20g) tandis qu'à la deuxième date seule Bo78 a avoisiné cette valeur. Sur la densité 10cm les variétés plus riches en graines ont été PRJ, Bo25, Bo78 et Bol (poids entre 10 et 23g) à la première date tandis qu'à la deuxième date PRJ et PRP se positionnent avec un poids variant entre 15 et

22g. Remarquons que les plus grandes productions de graines sont obtenues chez la PRJ avec les deux densités et dates de semis suivi de Bo25 avec seulement la première date et les deux écartements, ensuite on Bo78 avec la deuxième date et 10cm d'écartement (fig.21).

En prenant l'ensemble des variétés selon les paramètres la formation des graines a été plus importante avec la PRJ suivie par la BO25 et de Bo78. Les autres ont sensiblement eu les mêmes quantités de graines formées par panicules poids de graines (compris entre 1 et 5g).

2. Observations entomologiques

Les différents insectes rencontrés n'ont pas atteint un peuplement important, néanmoins les quelques individus qui ont été les plus considérables sont :

- La dynamique des *Aphis* sp

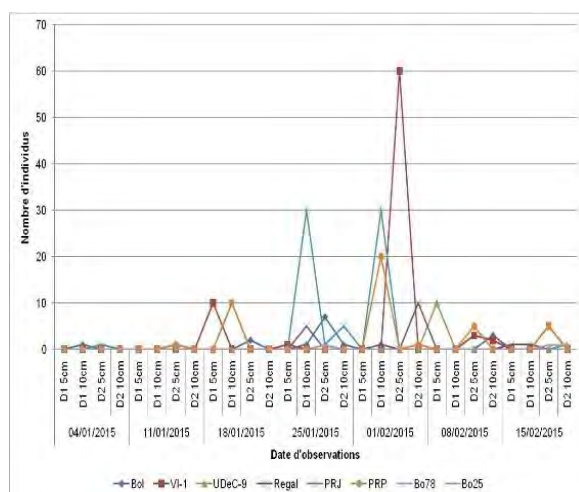


Figure 22 : Dynamique des Pucerons sur les variétés de quinoa selon les dates et densités de semis

La dynamique des *Aphis* sp sur les variétés quinoa selon les dates et les densités de semis :

En suivant la dynamique des pucerons sur les variétés de quinoa il résulte leur absence sur les plants de la plupart des variétés aux débuts des premières observations exception faite de VI-1, la PRJ et la PRP qui avaient quelques individus épars. Puis il s'en suit une disparition momentanée des parcelles et qui fut suivi par une faible excursion sur quatre variétés dont PRJ la plus infestée (fig.22). A cette suite s'affiche une nouvelle amplitude cette fois-ci plus importante sur VI-1 et qui s'enchaîne par une faible et sporadique population sur quelques variétés vers la fin du cycle (fig.22). La population a été moins importante dans les dates et les densités de semis.

- La dynamique des *Zonocerus variegatus*

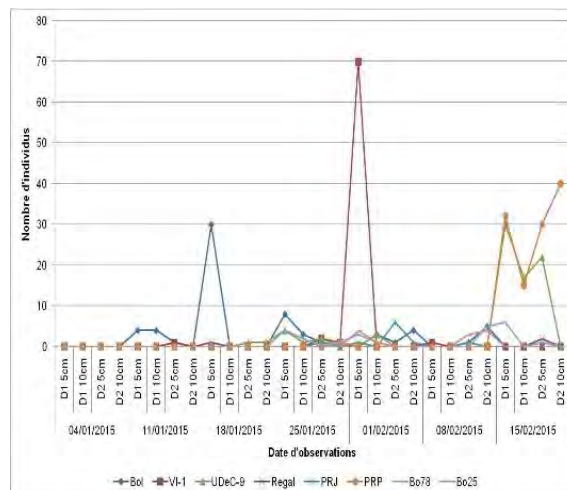


Figure 23 : Dynamique des *Zonocerus variegatus* sur les variétés de quinoa selon les dates et les densités de semis

Les *Zonocerus* ne sont apparus que de façon sporadique sur quelques variétés isolées dont 30 nymphes sur la Bol à la date du 18 janvier 2015, 70 sur la VI-1 en début février et quelques dizaines en fin d'observation sur l'UDeC-9 et la PRP. En dehors de ceux-ci les autres variétés ont été ignorées par les jeunes criquets puants (fig.23).

L'intervention phytosanitaire à base d'extraits de plante le soir du 01 février 2015 a vite stoppé la progression et les dégâts de ce ravageur d'où la chute brutale de la population des *Zonocerus* (fig.23).

- La dynamique des Miridae

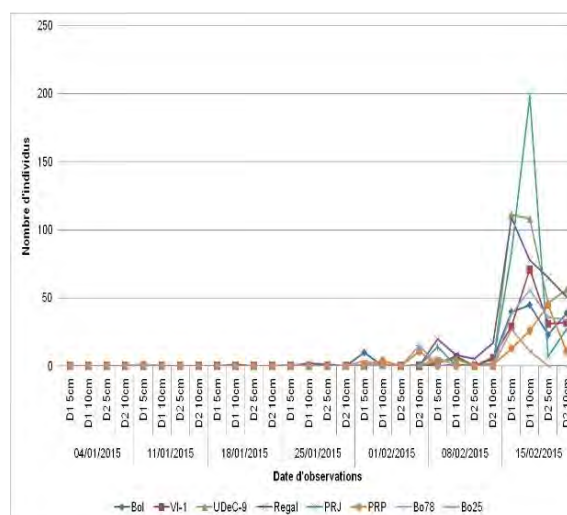


Figure 24 : Dynamique des Miridae sur les variétés de quinoa selon les dates et les densités de semis

Les Miridae, hétéroptère piqueur suceur de l'inflorescence et des jeunes fruits, ont commencé à apparaître progressivement dès le début février sur Bol. Ils ont continué leur excursion de façon sporadique sur quelques variétés avant de persister sur certaines variétés en mi-mars quand les quinoa étaient au stade de maturation. La densité de peuplement a été explosive vers la fin du cycle sur

toutes les variétés avec des amplitudes différentes. La population la plus importante a été rencontrée sur la PRJ avec environ 200 individus dans les panicules quand certaines atteignaient à peine 100 individus par planche à la date du 15 mars 2015 (fig.24).

On retient cependant que toutes les variétés ont été visitées à la même date dans des proportions différentes.

- La dynamique des *Oxycarenus sp*

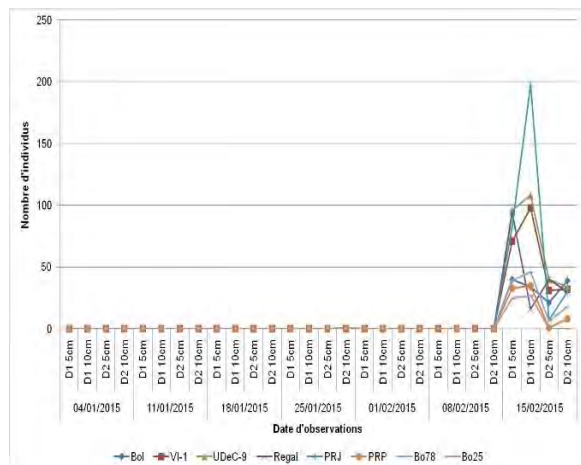


Figure 25 : Dynamique des *Oxycarenus hyalinipennis* sur les variétés de quinoa selon les dates et les densités de semis

Les *Oxycarenus hyalinipennis*, hétéroptère piqueur suceur inféodé aux graines des céréales, sont apparus vers la fin des observations quand toutes les variétés de quinoa étaient en pleine maturation. Cependant la population a été la plus importante sur la PRJ avec plus d'une centaine d'individus dans les panicules par planche. Dans ce cas encore toutes variétés ont été visitées par ce ravageur. Ainsi les variétés les plus appréciées ont été la PRJ suivie respectivement par l'UDeC-9, la VI-1 et la Regalona. La population de Bo25 a été la plus faible (fig.25).

La production des variétés de quinoa selon les dates et densités de semis

La récolte a suivi les mêmes décalages que le semis (10 jours entre la 1^{ère} et la 2^{ème} date). La première date a eu lieu le 28 février 2015 pour tous les écotypes dès qu'on a remarqué l'apparition de gemmules sur les graines de certaines panicules. Les gerbes fauchées sont mises dans les sacs et transportées au laboratoire pour le séchage à l'ombre pendant 3-7 jours.

- Production réelle des variétés de quinoa selon les dates et les densités de semis

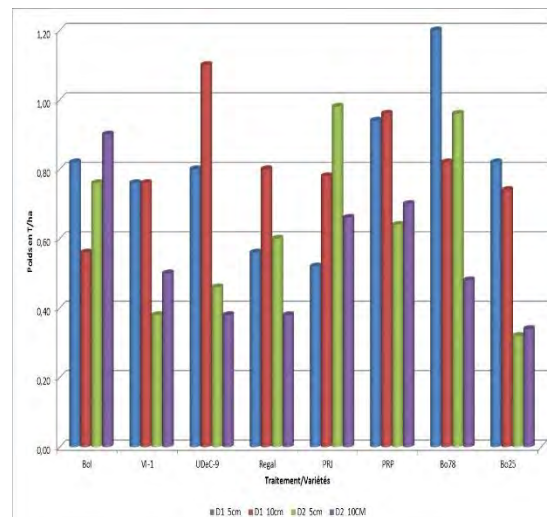


Figure 26: La production réelle des variétés de quinoa selon les dates et les densités de semis.

En ce qui concerne la production au champ, calculé sur la base de la récolte proprement dite, il résulte que seule deux variétés de la première date ont dépassé le rendement d'une tonne à l'hectare, 1,2T/ha pour Bo78 sur la densité 5cm à la première date de semis et 1,1T/ha pour UDeC-9 sur la densité 10cm à la première date. Ainsi les autres ont des rendements faibles qui varient entre 0,32T/ha pour Bo25 le plus faible sur 5cm et 10cm à la deuxième date de semis (fig.26).

- Production théorique en tonne par hectares

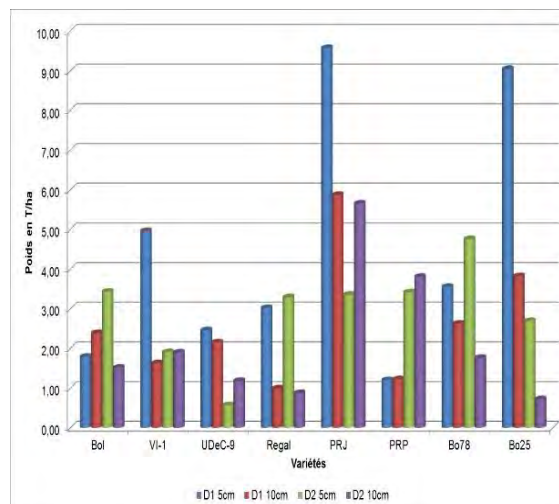


Figure 27 : Production théorique des quinoas selon les dates et les densités

L'estimation théorique du rendement, qui a été calculé à partir de la production unitaire des carrés d'observation rapporté à l'hectare, fournit des poids assez variés avec souvent des écarts considérables. Ainsi la production se situe entre 600kgs/ha (pour UDeC9 sur 5cm à la deuxième date et Bo25, Regalona sur 10cm à la deuxième) et 9,4T/ha (PRJ et Bo25 sur 5cm à la première date). Avec 5cm d'écartement, excepté UDeC9 (la variété espoir au regard de l'adaptabilité) toutes les variétés ont

dépassé les 3T/ha (fig.27). Avec les deux dates de semis et sur les deux densités, alternativement toutes les variétés ont dépassé les 2T/ha.

Pour la majorité des variétés de quinoa la première date a donné le meilleur rendement, par contre avec la deuxième date UDeC-9, Bo25, Regalona et PRP ont des faibles rendements oscillants entre 0,57 T /ha et 1,22 T/ha.

IV. DISCUSSION

De très nombreuses variétés de Quinoa sont cultivées dans la zone d'origine avec une grande diversité morphologique concernant la taille, la forme de la plante et les inflorescences, la forme, la couleur des feuilles, des tiges et des graines, la teneur en protéines et en saponine.

Les différentes variétés de quinoa de nos essais ont présenté une variation morphologique assez importante avec des tailles moyennes comprises entre 0,60m et 1,20m. Selon Del Castillo (2008) et Courcoux (2009) la tige de quinoa a une taille comprise entre 0,5 et 1,5m selon la variété et les conditions de croissance. Cependant l'accroissement de l'écartement entre les plants provoque une augmentation substantielle de la taille de ceux-ci atteignant ainsi les 1,65m (Magassa et al., 2014). S'agissant de la longueur des racines principales elles sont moins importantes que celles signalées par Jancurová et al. (2009) atteignant 30 cm contre 17cm (Marico et al., 2014 ; Magassa et al., 2014). En revanche la couverture racinaire c'est-à-dire la longueur des racines secondaires est de l'ordre de 16 à 30cm chez nos variétés (Togola et al., 2014 ; Magassa et al., 2014). Quant au diamètre au collet il est également moins important que ceux signalés par Jancurová et al. (2009) avec 3,5cm de diamètre. La longueur moyenne des panicules ont varié entre 26 cm (variété Bo25) et 11,00 cm (variété Regal) contre 35cm obtenus par Magassa et al., 2014 pour les mêmes variétés et 15-70cm signalé par Jancurová et al. (2009) pour les écotypes ayant fait l'objet de leurs études. Le poids en graine par paniculaire a atteint 30g dans les études de Togola et al., (2014) et le poids de mille a varié entre 1,5 et 2,5g (Magassa et al., 2014).

Malgré sa richesse en saponine (amer) qui joue un rôle de répulsif contre les insectes et autres ravageurs, le quinoa est affecté par des bioagresseurs; particulièrement les insectes du groupe des homoptères (*Aphis* sp, *Bemisia tabaci*), des orthoptères (*Zonocerus variegatus* et autres sauteriaux), des hétéroptères (*Oxycarenus hyalinipennis*, *Agonocelis* sp, *Aspavia*, *Lygus* sp et nombreux miridés) confirmant les résultats des études de Ortiz et al. (2001) cités par Carmen Del Castillo (2008) où en Bolivie dans l'Altiplano, les «ticonas» correspondant au groupe du complexe des noctuidés (*Copitarsia turbata* Herrich-Schäffer, *Feltia experta* Walker et *Spodoptera* sp.) demeurent les ravageurs majeurs du quinoa. Selon Jancurová et al. (2009) le

puceron (*Myzus persicae*) demeure le ravageur majeur de la culture de quinoa aux Himalayas.

S'agissant des rendements, ils ont varié entre Des niveaux de rendement de 34 qx/ha ont été obtenus en station expérimentale dans la région de Khénifra au Maroc (CERCAM, 2014).

V. CONCLUSION-SUGGESTIONS :

Le quinoa *Chenopodium quinoa* il faut le rappeler est une plante rustique qui s'adapte aux conditions climatiques les plus variées. Cette adaptabilité a été confirmée avec la première année d'expérimentation à Katibougou dans un climat Soudano-Sahélien caractérisé par une longue saison sèche (Octobre à Mai) et une courte saison pluvieuse (Juin à Septembre). Dans cette zone les températures moyennes oscillant entre 30 et 33°C et entre 21et 26°C en période fraîche (novembre-février). Les sols limono-argileux relativement pauvre sont bien adaptés pour la culture.

Des tests d'adaptation de 8 variétés de quinoa en fonction des deux dates et densités de semis pendant la période fraîche dans les conditions pédoclimatiques de Katibougou nous retenons que :

En ce qui concerne les résultats des observations agronomiques relatives à des diamètres au collet, à la hauteur de la tige, le nombre de ramifications et du nombre de feuilles, les données ont été très hétérogènes. Cependant on peut affirmer qu'à la phase de croissance elles étaient en faveur de la première date de semis et sur les deux densités. A la phase de la maturation la tendance s'incline vers la deuxième date très encore sur les deux densités. La plus grande production a été obtenue chez Bo78 première et écartement 5cm, suivi de UDeC9 première date et écartement 10cm.

Quant aux observations entomologiques, seuls quatre insectes phytophages nous ont paru importants comme ennemis de quinoa : *Zonocerus variegatus*, *Bemisia tabaci*, *Aphis* sp et les Miridae. Par rapport aux insectes entomophages, ce sont les Coccinelles seulement qui ont présenté une population significative.

Le traitement effectué avec une formulation de bio pesticide pour arrêter la progression des *Zonocerus variegatus* en donnant des effets positifs en réduisant l'effectif de la population. Alors nous sommes en droit de dire que la formulation a été efficace sur les *Zonocerus*.

De l'estimation du cycle végétatif des différentes variétés testées, la majorité ont un cycle court de 98 jours, (BOL, VI-1, UDeC-9, REGALONA, PEJ et PRP) et un cycle moyen de 110 jours pour BO78 et BO25.

Les rendements obtenus cette année ont été en deçà de ceux des années précédentes cependant l'espoir est permis par rapport à la réussite de cette culture dans nos conditions. Ce sont les variétés (Bo78) et (UDeC-9) qui ont fourni un rendement supérieur ou égal à 1

tonne et la variété (Bo25) n'a donné que 0,32T/ha le rendement absolument le plus bas enregistré au cours de ces dernières années d'expérimentation.

Au regard de toutes les performances évoquées, l'introduction du quinoa au Mali peut offrir des perspectives favorables à l'amélioration des conditions de vie de nos paysans, mais aussi celle de l'amélioration de nos conditions alimentaires.

Nous recommanderons alors que :

- la **poursuite des tests** sur les dates et densités de semis afin de mieux apprécier ces résultats,
- l'installation des **Tests dans** d'autres conditions de production de la culture,
- Extension des **tests** d'adaptation à toutes les zones agro-écologiques du Mali sinon de tout le Sahel à travers les structures de Recherche et les Services de Vulgarisation agricole.
- **Approfondissement de la recherche** sur les moyens biologiques de contrôle de la population des ravageurs de la culture.

REFERENCE

- [1] -Aurelie C., 2006 : Analyse économique des filières des produits biologique et équitables cas du quinoa ; ENSAM Montpellier, page 1- 4.
- [2] Aubert C., 1970 : le courrier du livre ; l'Agriculture Biologique, définition ; éd. Paris.
- [3] Bazile D. (2013). Le quinoa, un catalyseur d'innovation. CIRAD, Perspective. (20) 4p
- [4] Cercam (2014). Quinoa, une culture à fort potentiel d'adaptation et de production pour le Maroc. Fiche de synthèse. 5p.
- [5] Chauhan G.S., Eskin N.A.M. & Tkachuk R. (1992). Nutrients and antinutrients in quinoa seed. Cereal Chem., 69, 85- 88p.
- [6] Courcoux G. (2009). La Quinoa : le succès bio équitable d'une plante ancestrale. IRD, Fiche d'actualité scientifique, n°329. 1-2p
- [7] Del Castillo C, Mahy G et Winkel T. (2008). La quinoa en Bolivie: une culture ancestrale devenue culture de rente “ bio-équitable ”. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2008 12(4), 421-435p.
- [8] Huffacker B. et Doum, 1976-1990 : lutte biologique par utilisation des prédateurs 279 pp
- [9] Jacobsen, 2003 : le quinoa ; FAO page 1
- [10] Jancurová M., Minarovicová L., Dandár A. (2009): Quinoa – a review. Czech J. Food Sci., (27), 71–79p.
- [11] Kaze R. (2013). Quinoa, pépite des Incas. Dajaloo (36), 5-5p
- [12] Konaté M. A., 2009 : Adaptabilité de *Chenopodium quinoa* Willd dans les conditions pédo-climatiques hivernales de Katibougou
- [13] Oparaeke, A.M. 2006. Bioefficacy of plant extract mixtures for the protection of cowpea flowers against *Megalurothrips sjostedti* Trybom (Thripidae). J. Plant Sci., 1(1), 1-7p

ANNEXES

Préfloraison diamètre au collet

Variétés								
Traitements	Bol	VI-1	UDEC-9	Regal	PRJ	PRP	Bo78	Bo25
D1 5cm	0,55	0,45	0,25	0,43	0,46	0,36	0,35	0,33
D1 10cm	0,37	0,33	0,37	0,52	0,41	0,23	0,34	0,42
D2 5cm	0,27	0,25	0,23	0,27	0,28	0,29	0,29	0,18
D2 10cm	0,26	0,22	0,25	0,25	0,24	0,24	0,36	0,23

floraison diamètre au collet en cm

Variétés								
Traitements	Bol	VI-1	UDEC-9	Regal	PRJ	PRP	Bo78	Bo25
D1 5cm	0,73	0,85	0,57	0,83	1,03	0,4	0,68	0,67
D1 10cm	0,7	0,63	0,67	0,67	0,68	0,63	0,8	0,97
D2 5cm	0,69	0,60	0,50	0,47	0,63	0,63	0,73	0,97
D2 10cm	0,61	0,5	0,4	0,47	0,63	0,63	0,9	0,67

Diamètre à la maturité

Traitements	Bol	VI-1	UDEC-9	Regal	PRJ	PRP	Bo78	Bo25
D1 5cm	0,72	0,87	0,58	0,84	1,07	0,43	1,00	0,90
D1 10cm	0,71	0,64	0,67	0,73	0,93	0,97	0,80	0,97
D2 5cm	0,70	0,61	0,53	0,47	0,68	0,90	0,90	0,98
D2 10cm	0,73	0,70	0,57	0,47	0,96	0,93	0,93	0,93

Préfloraison tailles en cm

Variétés								
Traitements	Bol	VI-1	UDEC-9	Regal	PRJ	PRP	Bo78	Bo25
D1 5cm	22,33	27,33	14,00	26	25,33	13	17,33	18
D1 10cm	18,00	17,67	19,33	22,67	19	10,67	17,67	19,33
D2 5cm	15,00	8,00	9,67	10,33	12,83	10	13,83	7
D2 10cm	9,33	8,67	8,67	9,17	10,17	9,33	10,83	7,67

floraison taille en cm

Variétés								
Traitements	Bol	VI-1	UDEC-9	Regal	PRJ	PRP	Bo78	Bo25
D1 5cm	66,00	74,33	47,33	64,00	95,67	39,00	70,00	87,33
D1 10cm	70,00	53,67	59,00	47,33	60,00	50,33	79,00	84,33
D2 5cm	86,00	61,33	43,00	51,33	85,00	87,33	96,00	100,00
D2 10cm	71,67	59,00	46,33	47,33	81,33	95,00	73,67	89,00

Taille à la maturité

Traitements	Bol	VI-1	UDEC-9	Regal	PRJ	PRP	Bo78	Bo25
D1 5cm	70,67	80,33	58,33	83,00	107,00	60,00	80,33	109,33
D1 10cm	72,00	73,33	63,00	61,67	81,00	65,67	82,67	89,00
D2 5cm	87,33	82,33	65,33	54,00	113,67	100,33	98,33	101,00
D2 10cm	89,67	85,00	70,00	49,33	111,33	101,33	108,33	102,33

Préfloraison Nbre des branches

Variétés								
Traitements	Bol	VI-1	UDEC-9	Regal	PRJ	PRP	Bo78	Bo25
D1 5cm	18	18	14	18	14	14	16	15
D1 10cm	17	8	17	17	18	10	16	17
D2 5cm	10	7	7	8	12	9	12	7
D2 10cm	7	6	8	6	9	7	11	7

floraison nbres de branche								
Variétés								
Traitements	Bol	VI-1	UDEC-9	Regal	PRJ	PRP	Bo78	Bo25
D1 5cm	24	22	21	20	22	20	24	20
D1 10cm	25	19	23	19	24	20	27	26
D2 5cm	21	17	18	13	19	10	17	20
D2 10cm	19	16	10	13	10	16	22	17

Préfloraison des feuilles								
Variétés								
Traitements	Bol	VI-1	UDEC-9	Regal	PRJ	PRP	Bo78	Bo25
D1 5cm	22	20	19	24	26	15	18	18
D1 10cm	21	18	21	23	19	16	21	20
D2 5cm	17	13	13	13	16	15	16	11
D2 10cm	11	12	13	12	13	11	21	10

LARGEUR DES FEUILLES								
Traitement	Bol	VI-1	UDeC-9	Regal	PRJ	PRP	Bo78	Bo25
D1 5cm	1,43	1,17	2,67	2,53	3,80	1,97	1,87	2,23
D1 10cm	1,40	1,40	2,13	2,47	2,63	2,03	1,60	1,73
D2 5cm	1,13	1,43	2,30	2,17	2,07	1,97	1,37	1,43
D2 10cm	1,00	1,50	1,63	2,50	1,40	1,97	0,83	1,43

LONGUEUR DES FEUILLES								
Traitement	Bol	VI-1	UDeC-9	Regal	PRJ	PRP	Bo78	Bo25
D1 5cm	7,17	7,00	8,00	7,13	11,67	7,17	6,83	8,33
D1 10cm	6,67	7,33	7,58	7,60	10,50	6,83	6,33	7,33
D2 5cm	6,00	6,67	7,33	8,00	8,33	7,67	7,00	5,17
D2 10cm	7,00	7,00	8,00	6,50	7,40	8,67	6,83	6,33

LONGUEUR DES PETIOLES								
Traitement	Bol	VI-1	UDeC-9	Regal	PRJ	PRP	Bo78	Bo25
D1 5cm	2,63	2,50	3,37	2,33	4,23	2,70	2,77	3,77
D1 10cm	2,67	2,97	3,10	2,60	3,70	2,47	3,17	3,10
D2 5cm	2,83	3,07	3,43	2,37	3,13	2,20	3,17	2,23
D2 10cm	3,00	3,00	3,20	2,37	2,80	2,00	2,23	2,57

NbreS moyens de dents								
Traitement	Bol	VI-1	UDeC-9	Regal	PRJ	PRP	Bo78	Bo25
D1 5cm	7	4	8	9	9	9	8	6
D1 10cm	6	7	7	10	7	6	6	5
D2 5cm	5	7	9	9	8	5	5	4
D2 10cm	4	8	9	8	7	5	3	5

Diamètre de la panicule								
Traitements	Bol	VI-1	UDeC-9	Regal	PRJ	PRP	Bo78	Bo25
D1 5cm	3,00	4,30	3,13	2,30	4,40	2,73	4,07	6,73
D1 10cm	3,80	3,43	3,53	4,17	4,37	3,53	4,40	6,33
D2 5cm	3,73	3,47	2,57	3,27	3,53	3,30	4,47	5,27
D2 10cm	4,63	4,37	3,07	3,27	4,60	3,87	4,17	5,87

Longueur de la panicule								
Traitements	Bol	VI-1	UDeC-9	Regal	PRJ	PRP	Bo78	Bo25
D1 5cm	15,47	21,67	12,67	13,67	22,33	13,00	12,67	15,67
D1 10cm	17,00	13,67	18,00	11,00	21,33	14,33	16,33	12,33
D2 5cm	20,33	14,33	9,00	13,33	17,00	18,67	19,00	23,00
D2 10cm	19,67	18,00	18,00	12,33	21,67	15,67	20,00	26,00

couverture de racine secondaire								
Traitements	Bol	VI-1	UDeC-9	Regal	PRJ	PRP	Bo78	Bo25
D1 5cm	17,33	13,67	10,67	4,00	27,33	18,00	17,67	25,67
D1 10cm	7,00	11,67	6,67	16,33	2,00	10,50	7,83	12,33
D2 5cm	14,00	20,00	16,00	10,67	17,67	14,33	13,00	13,33
D2 10cm	16,67	14,67	17,33	8,67	7,00	6,50	9,83	8,00

Nbre de racine secondaire								
Traitements	Bol	VI-1	UDeC-9	Regal	PRJ	PRP	Bo78	Bo25
D1 5cm	4,67	4,00	2,00	1,00	7,67	2,33	5,00	4,33
D1 10cm	4,33	2,00	3,33	5,33	0,67	4,67	3,00	2,33
D2 5cm	3,00	3,33	3,67	1,67	4,67	3,67	5,00	3,67
D2 10cm	2,33	2,33	4,33	3,00	7,00	4,33	8,67	2,00

Longueur de la racine principale								
Traitements	Bol	VI-1	UDeC-9	Regal	PRJ	PRP	Bo78	Bo25
D1 5cm	8,67	14,00	10,67	3,33	17,00	18,00	15,67	11,67
D1 10cm	4,67	4,33	5,00	12,33	3,33	10,67	7,33	9,00
D2 5cm	9,00	10,67	16,33	4,00	11,00	12,33	6,67	13,67
D2 10cm	12,67	9,33	11,33	6,00	10,33	6,50	11,17	7,00

productions réel								
Variétés								
Traitements	Bol	VI-1	UDeC-9	Regal	PRJ	PRP	Bo78	Bo25
D1 5cm	0,82	0,76	0,80	0,56	0,52	0,94	1,20	0,82
D1 10cm	0,56	0,76	1,10	0,80	0,78	0,96	0,82	0,74
D2 5cm	0,76	0,38	0,46	0,60	0,98	0,64	0,96	0,32
D2 10cm	0,90	0,50	0,38	0,38	0,66	0,70	0,48	0,34

productions théorique								
Variétés								
Traitements	Bol	VI-1	UDeC-9	Regal	PRJ	PRP	Bo78	Bo25
D1 5cm	1,79	4,96	2,46	3,02	9,57	1,20	3,55	9,05
D1 10cm	2,39	1,63	2,15	1,00	5,87	1,22	2,63	3,82
D2 5cm	3,43	1,91	0,57	3,29	3,35	3,42	4,76	2,69
D2 10cm	1,51	1,90	1,18	0,88	5,65	3,81	1,77	0,72

Utilisation des *Actinomycetes* comme biofertilisant pour améliorer la croissance et le rendement du maïs

Amadou Hamadoun DICKO^{1*}, Adounigna KASSOGUÉ¹, Amadou Hamadoun BABANA¹, Rokiadou FANÉ¹, Djeneba NANTOUMÉ¹, Djeneba OUATTARA¹ et Sognan N'DAO¹

¹ Laboratoire de Recherche en Microbiologie et Biotechnologie Microbienne/Faculté des Sciences et des Techniques, Bamako

*Auteur correspondant email: ahdicko@laborem-biotech.com

RESUME : Cette étude est réalisée dans le but d'évaluer l'effet des *Actinomycètes* à activités PGP sur la croissance et le rendement de maïs. Ce test de sélection a permis de sélectionner trois *Actinomycètes* : *Actinomycète* sp. H7, O19 et AHB12 pour leur capacité à solubiliser les phosphates (PNT et TCP), à fixer l'azote atmosphérique, à produire des substances antimicrobiennes, des enzymes, des phytohormones et pour leur index de vigueur élevé. Cinq graines préalablement aseptisées, inoculées et enrobées ont été semées par pot. Les meilleurs isolats sélectionnés en serre ont été testés dans des expérimentations en station. En pot, les graines inoculées, avec *Actinomycète* sp. H7 a donné la meilleure croissance en taille des plants avec 68,85 cm, soit 19,33% de plus comparé au témoin non inoculé ($P \leq 0,05$). Dans les expériences en station, il a été constaté que l'*Actinomycète* sp H7 a augmenté considérablement la biomasse fraîche et sèche de la partie aérienne avec respectivement 919,70 g et 405, 68g contre respectivement 636,70g et 297,36g pour le témoin. Le meilleur rendement en graines a été obtenu avec la combinaison O19-AHB12 avec un poids de 311,50g/1000g contre 178,28 g pour le témoin non inoculé. Toutes les graines de maïs inoculé ont montré une croissance meilleure par rapport aux témoins. Ces résultats confirment tout le bien qu'on pense des PGPRs et surtout ouvrent une voie pour la formulation et l'utilisation de biofertilisants à base de PGPRs au Mali.

Mots clés : PGPR, biofertilisant microbien, croissance, rendement, maïs.

I. INTRODUCTION:

Le maïs (*Zea mays* L.) occupe une place importante dans les systèmes de production agricole dans les zones agroécologiques du Mali. Il est l'une des principales céréales intervenant dans l'alimentation des populations en Afrique. Bien qu'étant une culture vivrière, le maïs est également une culture de rente (IITA, 2006).

A cause de l'accroissement prévu de la population mondiale au cours des 25 prochaines années, il faudra une augmentation de la production des cultures vivrières en général, et particulièrement celle du maïs. Cette augmentation sera particulièrement nécessaire en Asie et en Afrique, où la croissance démographique serait forte (IITA, 2006).

Au Mali, la production du maïs est confrontée à de nombreuses contraintes parmi lesquelles la baisse de la fertilité des sols et les ravageurs de plantes occupent une place prépondérante. Pour y arriver les paysans se sont tournés vers les engrais et les pesticides chimiques qui deviennent de plus en plus dangereux pour les paysans, les consommateurs et la santé de l'environnement. En plus, à cause de la montée du prix du pétrole, ces engrais artificiels deviennent moins accessibles aux petits producteurs familiaux à cause de son prix élevé. La production accrue doit être atteinte grâce à l'amélioration de la fertilité des sols. La matière organique du sol et

certains microorganismes du sol sont reconnus par de nombreux chercheurs comme des facteurs clés dans le maintien de la productivité des cultures (Sompong et al., 2006, Babana et al., 2013).

Parmi les microorganismes utilisés comme biofertilisants il y a un groupe de bactéries appelées "rhizobactéries". Certaines de ces bactéries favorisent la croissance des plantes et les protègent contre les pathogènes. Elles sont dites «PGPR» (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*). Ces bactéries et les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) sont potentiellement utilisées dans l'agriculture et l'horticulture (Azcon, 2000 et Noumavo et al., 2013, Dicko et Verma, 2014). Les rhizobactéries colonisent activement les racines des plantes et améliorent leur croissance et leur rendement (Wu et al., 2005). De nombreuses tentatives ont été essayées pour remplacer les engrais chimiques nocifs par les biofertilisants pour obtenir un rendement de quantité et de qualité (El-Kholy et al., 2005). Les premiers effets PGPR sur les graines ont été observées avec *Pseudomonas* spp., isolé à partir de racines. En Californie et dans l'Idaho, Burr et al., (1978) ont obtenu une augmentation statistiquement significative du rendement de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) de 14% à 33% dans 59 champs en inoculant les semences avec une suspension de *Pseudomonas fluorescens* et *Pseudomonas putida*. Il a été également montré que les souches de *Pseudomonas putida* et *Pseudomonas*

fluorescens peuvent augmenter l'allongement des racines et des pousses de Canola (Glick *et al.*, 1978), du blé, de la pomme de terre (Frommel *et al.*, 1993 ; Babana *et al.*, 2011) et du maïs (Pacome *et al.*, 2013). Mishra *et al.* (1995) et El Kholi et de Gomaa (2000) ont réussi à réduire les doses recommandées d'engrais chimiques pour le maïs et le mil de 50% en utilisant des biofertilisants sans perte de rendement. Jusqu'à nos jours, peu d'études ont été menées au Mali sur l'utilisation des PGPR dans l'amélioration de la croissance et du rendement des cultures. C'est dans ce cadre que la présente étude vise à sélectionner et à tester en serre et au champ des souches d'actinomycètes à activités PGPR pouvant améliorer la croissance et le rendement du maïs.

II. MATERIEL ET METHODES :

1. Matériel

Souches d'actinomycètes: Six isolats d'actinomycètes (H7, H17, S24, R13, T57 et O19), ont été choisis dans la collection du Laboratoire de Microbiologie et Biotechnologie Microbienne. Ces Actinomycètes ont été isolés et caractérisés (Dicko *et al.*, 2013; Dicko, 2012) et conservés au Laboratoire de Recherche en Microbiologie et Biotechnologie Microbienne (LaboREM-Biotech) de la Faculté des Sciences et Techniques /Université des Sciences, Techniques et Technologies de Bamako.

2. Methodes

2.1. Sélection des isolats au laboratoire

2.1.1. Solubilisation du phosphate (TCP et PNT)

Pour identifier les isolats capables de solubiliser le phosphore, une portion de 2 mm de diamètre de la souche coupée à l'emporte-pièce a été cultivée sur le milieu Pikovskaya agar (Pikovskaya, 1948) et incubée à 28°C pendant 7 jours. Les colonies bactériennes solubilisant le phosphore ont été identifiées par la présence d'une zone claire autour de la surface de croissance (Chakraborty *et al.*, 2010 ; Dicko, 2012). L'indice de solubilisation (IS) a été calculé par la formule suivante (Alikhani *et al.*, 2006) :

$$IS = \left\{ \frac{\text{Diamètre de l'halo} - \text{diamètre de la colonie}}{\text{diamètre de la colonie}} \right\} \times 100 \text{ (I)}.$$

2.1.2. Fixation de l'azote atmosphérique et utilisation de l'azote organique

2.1.2.1. Fixation de l'azote atmosphérique

Toutes les souches ont été évaluées pour leur capacité à fixer l'azote atmosphérique en microaérophilie, en les inoculant sur milieu semi-solide sans azote (NFB : Nitrogen free medium) (Döbereiner *et al.*, 1995) selon la méthode décrite par Júnior *et al.* (2013).

2.1.2.2. Utilisation de l'azote organique

Pour vérifier la capacité des isolats à produire l'acide 1-Aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC)

désaminase, les isolats ont été repiqués sur un milieu minimal contenant de l'ACC comme source d'azote. Seules les souches pouvant utiliser l'ACC comme source d'azote pourront croître normalement. Aussi, une croissance de l'isolat comparable à celui du témoin a été considérée comme positive (Zafar *et al.*, 2007).

2.1.3. Production d'Acide Indole Acétique

Les souches d'actinomycètes ont été cultivées dans un bouillon nutritif contenant 2 g/ml de tryptophane, incubées à 28°C pendant 15 jours pour les actinomycètes et 4 jours pour les autres isolats. Après incubation, les cultures ont été centrifugées à 3000 rpm pendant 30 mn. Après centrifugation, 2 ml du surnageant de chaque culture ont été mélangés avec 2 gouttes de l'acide orthophosphorique et 4 ml du réactif de Salkowski. L'apparition d'une couleur rose indique la production de l'IAA (Ahmad *et al.*, 2005).

2.1.4. Production de sidérophores

La production des sidérophores sur milieu solide a été effectuée sur milieu King B ensemencé par un spot de 2 µl de la culture bactérienne et incubé à 30°C pendant 48 heures comme décrite par Hafsa, (2014). Le calcul du rapport (diamètre du halo/le diamètre de la colonie bactérienne) a permis de comparer les différences de production entre les souches bactériennes (Dicko *et al.*, 2013).

2.1.5. Activités antimicrobiennes

2.1.5.1 Activité antibactérienne

L'activité antibactérienne des actinomycètes sélectionnés a été déterminée par la méthode décrite par Babana *et al.* (2011) qui consiste à couler 25 ml du milieu Bennett agar sur 200µl d'une suspension de la bactérie pathogène à partir de l'eau physiologique stérile. Après solidification, les boîtes ont été inoculées avec les actinomycètes isolés en raison de 10µl d'inoculum, contenant 10^8 ufc/ml de bactéries, par point d'inoculation puis incubées pendant 7 jours à la température ambiante (Dicko *et al.*, 2013). Les diamètres de zones d'inhibition bactériennes ont été mesurés.

2.1.5.2 Activité antifongique

La méthode de la double couche a été utilisée pour identifier les souches d'actinomycètes à activité antifongique comme décrite dans Rupela *et al.* (2003). Les boîtes de pétri ont été ensuite incubées à 28°C pendant 7 jours. La présence d'une zone d'inhibition indique l'activité antifongique de la souche et la taille du diamètre de la zone d'inhibition indique l'importance de l'activité.

2.1.6 Production d'enzymes

2.1.6.1 Production de cellulase

La production de la cellulose a été vérifiée selon la technique adoptée par Saadoun *et al.* (2007). La lecture a été effectuée après 4 jours d'incubation en couvrant chaque boîte avec du rouge Congo (0,1%) pendant 15-20 minutes puis lavées avec du NaCl (1M) et incubées dans un réfrigérateur à 8°C pendant toute une nuit. Les colonies des bactéries produisant

la cellulase montrent un halo clair, tandis que celles ne produisant de cellulase se colorent en rouge.

2.1.6.2. Production de chitinase

Pour sélectionner les bactéries produisant la chitinase, les souches testées ont été cultivées sur le milieu "Minimum Mineral salt" supplémenté de chitine. Les boîtes inoculées ont été incubées à 28°C pendant 21 jours. Les souches bactériennes produisant la chitinase montrent un halo clair autour de la surface de croissance (Zaki *et al.*, 2003).

2.1.7. Test de germination des graines *in vitro*:

Pour vérifier la capacité des souches à améliorer le taux de germination des graines de maïs, des essais de germination *in vitro* ont été effectués par la méthode des papiers serviette décrite par Noumavo *et al.* (2013) modifiée. En effet, nous avons utilisé, en lieu et place du papier serviette, du papier filtre imbibé d'eau distillée stérile. Après 7 jours de culture, les pousses et la longueur des racines des pousses ont été mesurées pour déterminer l'indice de vigueur avec la formule suivante:

Indice de Vigueur = (longueur moyenne des racines + longueur moyenne des pousses) × % du taux de germination. (2)

2.2. Sélection des souches en serres

2.2.1. Production de l'inoculum bactérien

Pour préparer les inocula, chaque souche a été cultivée dans des Erlenmeyers de 500 ml contenant 200 ml du bouillon nutritif. Puis, ils ont été placés sous agitation à $28 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant une semaine. Après incubation, les différentes cultures ont été centrifugées à 10000 rpm pendant 15 minutes pour séparer le culot du surnageant.

Pour chaque souche, l'inoculum a été ajusté à 1.10^8 bactéries/ml en les estimant par spectrophotométrie en ajustant la densité optique (D.O.) à 0,1 pour une longueur d'onde de 600nm (Dicko et Verma, 2014).

2.2.2. Inoculation et enrobages des graines de maïs (*Zea mays*)

Cent (100) grammes de graines de maïs (cv. Dembanyuma) triées ont été aseptisées conformément à la méthode décrite par Noumavo *et al.* (2013). Les graines ont été immergées dans l'inoculum pendant une heure puis enrobées avec une solution de méthylcellulose à 2% et de la poudre de charbon actif stérile. Les graines ainsi enrobées ont été séchées sous une hotte à flux laminaire pendant quatre heures.

2.2.3. Essais et mesure des paramètres agronomiques

L'expérience a été conduite dans des pots en plastique, disposés selon un plan aléatoire avec cinq (5) traitements et trois (3) répétitions par traitement. Trois (3) souches ont été testées et chacune d'elles a été considérée comme un traitement. Un quatrième traitement constitué des graines non inoculées et représentant le témoin a été inclus, donnant au total les 4 traitements. L'apport d'eau a été assuré quotidiennement, et aucun autre fertilisant n'a été

utilisé. Après germination, les jeunes plants ont été démarrés à trois par pot. Après 30 jours de culture, les plants ont été dépotés. La longueur des racines et la taille (hauteur) de la tige ont été mesurées, le nombre de feuilles a été compté, les poids à l'état frais de la partie aérienne et des racines ont été déterminés puis enregistrés.

Après détermination du poids frais de la biomasse aérienne et des racines ont été séchées dans une étuve à 65°C pendant 72 heures conformément à la méthode décrite par Noumavo *et al.* (2013) et le poids de la matière sèche des parties aériennes et des racines ont été déterminés par pesage.

2.3. Détermination de l'effet des biofertilisants à base d'actinomycètes en station:

Dans le but de déterminer l'effet des traitements d'inoculation sur la croissance et la production du maïs, un plan en bloc complet de cinq (5) blocs avec comme facteur de blocage le gradient de drainage et huit (8) traitements (H7: **T1** ; O19: **T2** ; AHB12 : **T3** ; H7- AHB12 : **T4** ; H7-O19 : **T5** ; AHB12-O19 : **T6** ; H7-O19- AHB12: **T7** et le témoin non inoculé : **T0**) a été mis en place. A l'intérieur de chaque bloc, les traitements ont été distribués aléatoirement. La distance entre les blocs a été fixée à 0,50 m, tandis que l'écartement entre les traitements a été de 0,80 m. Les semences de la variété de maïs "Dembanyuma", utilisées dans cette expérimentation, nous ont été gracieusement offertes par le programme maïs du CRRS Sotuba au Mali. Le cycle de cette variété est de 110 jours. La production d'inoculum et l'inoculation des graines ont été effectuées comme décrite dans la section *
2.2.2 Inoculation et enrobages des graines de maïs (*Zea mays*)*. Les plants ont été régulièrement approvisionnés en eau à la capacité au champ. À la levée de la troisième feuille, les plants ont été démarrés à 2 plants par poquet. Aucun fertilisant n'a été ajouté. Pour évaluer la performance des biofertilisants microbiens en station, la taille des plants, le diamètre de la tige, la surface foliaire et le nombre des feuilles ont été déterminés aux 30^{ème}, 45^{ème} et 75^{ème} jours après semis. La surface foliaire a été déterminée selon la formule décrite par Ruget *et al.* (1996):

Surface foliaire = $K \times \text{longueur de la feuille} \times \text{largeur de la feuille}$, où $k = 0,75$. (3)

À la récolte pour chaque traitement, le poids de la partie aérienne (tiges et feuilles) et de 1000 grains ont été évalués.

2.4. Analyse statistique des données

Le test de Bartlett a été effectué pour vérifier l'homogénéité de la variance des moyennes pour les différents paramètres mesurés. Les traitements avec des moyennes non homogènes ont subi une transformation avant analyse. L'analyse de variance (ANOVA) pour les différents paramètres agronomiques mesurés a été effectuée pour toutes les

données en utilisant les procédures du modèle linéaire général (GLM) du système d'analyse statistique (SAS). Pour tous les paramètres dont le F s'est révélé significatif, nous avons procédé à une comparaison des moyennes en utilisant le test de la plus petite différence significative (LSD) protégé de Fischer (Steel and Torrie 1980).

III. RESULTATS

1. Sélection au Laboratoire

Les souches ont été sélectionnées principalement sur leurs caractères PGPR, leur fort taux de germination et l'index de vigueur élevé. Les résultats obtenus sont consignés dans le **tableau 1** et **tableau 2**

Tableau 1: Résultats de tests de sélection des souches présélectionnées

Tests effectués	Actinomycètes à activités PGPR							
	H3	H7	H17	AH B12	R4 G	R13	O19	S24
Phosphore TCP	-	+	+	+	+	-	+	-
Phosphore PNT	-	+	-	+	-	-	+	-
Chitinase	+	+	-	+	-	-	+	-
Cellulase	-	+	-	+	-	+	-	-
ACC désaminase	±	+	-	+	-	-	+	-
Activités antimicrob	+	+	+	+	+	+	+	+
Fixation de N ₂	-	+	-	+	-	+	+	-
AIA	-	+	-	+	-	-	+	-
Sidérophores	-	+	-	+	-	-	+	+

- = Test négatif, + = Test positif ;

Le tableau 1 nous montre que seules les souches d'*Actinomycètes* sp. H7 et AHB12 sont positives à tous les tests de présélections effectués.

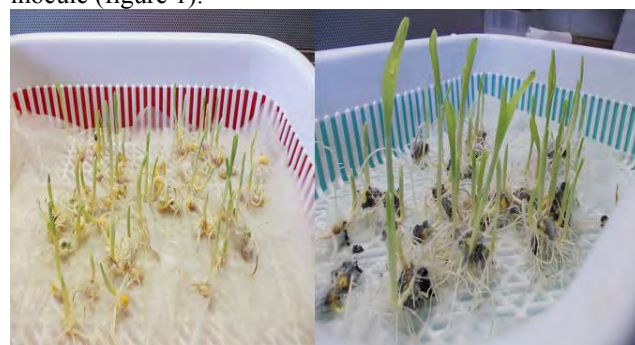
Pour déterminer la capacité des souches à améliorer la croissance du maïs, le taux de germination et l'index de vigueur du maïs ont été calculés et les résultats sont consignés dans le **tableau 2**.

Tableau 2: Influence des Actinomycètes PGPR sur la germination et index de vigueur *in vitro*

Traitements	Paramètres mesurés	
	Taux de germination (%)	Index de vigueur
H7	98	12,98
O19	96	13,80
AHB12	100	11,92
H17	86	9,77
R13	86	9,52
S24	84	8,60
Témoin	62	4,94
H7	98	12,98

Ce tableau 2 montre que les meilleurs taux de germination et de l'index de vigueur ont été obtenus respectivement avec les traitements inoculés avec les

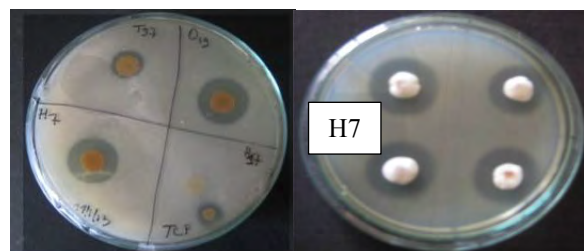
souches H7, O19 et AHB12 comparé au témoin non inoculé (figure 1).



Témoin non inoculé *Actinomycète sp H7*

Figure 1: Influence des PGPR sur la germination et l'index de vigueur, cas de l'actinomycètes sp H7 comparé au témoin non inoculé

Ces résultats obtenus dans ce **tableau 2** et **3** ont permis de sélectionner les souches suivantes : **H7, AHB12, O19**. Les souches d'*Actinomycètes* sp. **H7, O19 et AHB12** *Streptomyces* sp. ont montré une forte capacité à solubiliser les phosphates tricalciques. Seul **H7 et O19** ont été capables de solubiliser efficacement *PNT* (**figure 2**).



A) TCP

B) PNT

Figure 2: Solubilisation des phosphates par quelques souches sélectionnées

Elles ont aussi été sélectionnées pour leur capacité à produire l'AIA, des enzymes (la chitinase, la cellulase et ACC désaminase) (figure10) et en fin pour leur fort pouvoir à inhiber la croissance de certains pathogènes comme les xanthomonas du riz, l'agent causal de la pourriture molle de la pomme de terre (*Bacillus pumilus* Od23) et *alternaria solani* (**tableau 3**).

Tableau 3: Mésures des activités antimicrobiennes des souches présélectionnées

Actinomycètes sp	Mésures de la zone d'inhibition (mm)		
	<i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>Oryzae</i>	<i>Alternaria solani</i> sp	<i>Bacillus pumilus</i> Od23
O19	20,23	19,99	20
H17	5,00	11,00	27,1
S24	10,23	16,64	10,83
H7	24,95	22,3	34,65
R4G	16,74	15,79	26,85
H3	15,80	16,72	14,19
R13	10,00	10,19	1,00
AHB12	23,15	20,03	24,19

L'analyse de ce tableau montre que les meilleures zones d'inhibition ont été obtenues respectivement avec *actinomycètes* sp. **H7, O19 et AHB12** sur

l'ensemble des pathogènes testés. Ces résultats obtenus confirment l'efficacité des souches d'*actinomycètes* sp. **H7**, **O19** et **AHB12** avec des zones d'inhibition importantes sur les pathogènes.

2. Sélection des souches d'actinomycètes PGPR en serres

Les effets des souches sélectionnées inoculées avec le maïs sont consignés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Effet des actinomycètes sur la germination et la croissance du maïs dans des essais en pot inoculés

Isolats	TP (cm)	TR (cm)	PFF (g)	PRF (g)	PFS (g)	PRS (g)
AHB12	65.23b	42.12b	34,78c	14,78c	11,83b	1,23c
H7	68.96a	45.72a	45,01a	18,01a	12,66a	2,73a
O19	68.47a	46.82a	38,59b	16,59b	12,59a	1,72b
Témoin	41.24c	34.12c	26,17d	10,17d	9,56c	1,25c

TP : Taille de la plante ; **TR :** Taille des racines ; **PFF :** Poids des feuilles fraîches ; **PRF :** Poids racines fraîches ; **PFS :** Poids des feuilles sèches ; **PRS :** Poids des racines sèches. Dans une même colonne, les chiffres suivis de la même lettre ne sont significativement différents au seuil de probabilité de 0,05 selon le test de Fisher.

L'analyse des résultats de ce tableau montre qu'il y'a une nette différence entre l'inoculation avec les trois isolats sélectionnés, comparés au témoin non inoculé. Le taux de germination des graines le plus élevé a été obtenu avec **AHB12** (80 %) contre 40% dans les pots témoins. Les croissances les plus importantes ont été obtenues par **H7** et **O19** avec une taille de 68.96 cm et 68.47cm respectivement contre 41,24 cm pour le témoin non inoculé. Le poids moyen de la matière végétale fraîche le plus élevé des feuilles ainsi que des racines a été identifié chez **H7** avec respectivement 45,01 g et 12,66 g contre 26,17 g de feuilles fraîches et 10,17 g de racines fraîches pour les plantes témoins non inoculées.

3. Détermination de l'effet des biofertilisants à base d'actinomycètes à activités PGPR sur la croissance et le rendement du maïs en station.

Les résultats obtenus dans cette expérimentation sont résumés dans les tableaux : 5, 6 et 7.

Tableau 5: Test d'homogénéité de la variance représentant les données (nombre de feuilles, diamètre de la tige, taille de la partie aérienne, surface foliaire, poids de la biomasse aérienne fraîche et sèche, et le poids de 1000 graines.

Test Anova	NF	DT (mm)	TP (cm)	PBAF	P1000	PPAS
KS	0,062NS	0,097NS	0,044NS	0,063NS	0,082NS	0,192*

* Significative à $p < 0,05$, **NS** = non significative, **KS**: Kolmogorov-Smirnov **TP :** taille de la plante, **NF**: Nombre de feuilles **PBAF :** poids de la biomasse aérienne fraîche, **PBAS :** poids de la biomasse aérienne sèche.

Le test de Kolmogorov-Smirnov a montré que les données sont homogènes pour le nombre de feuilles, le diamètre de la tige, la taille des plants, le poids de la biomasse aérienne fraîche et le poids de 1000 grains sauf pour les données de la surface foliaire et de la biomasse sèche. Ces deux données (la surface foliaire et la biomasse sèche) ont subi une transformation logarithmique avant l'analyse des données.

Tableau 6 : Effet des souches d'Actinomycètes sur la croissance et le rendement du maïs.

Souches	Paramètres mesurés			
	DT (mm)	PBAF (g)	PPAS (g)	Poids de 1000 graines (g)
H7	18,99a	919,70a	405,68a	300,57a
O19	18,72a	906,30ab	358,11b	302,82a
AHB12	18,94a	877,30ab	377,32ab	299,79a
H7O19	17,46ab	775,70abc	388,46ab	279,48ab
H7AHB12	18,77a	899,00ab	382,03ab	285,76ab
O19AHB12	18,85a	918,10a	375,11ab	311,50a
H7O19AHB12	16,95b	687,30c	348,91b	256,30b
Témoin	16,94b	636,70bc	297,36c	178,28c

a, b, c : représentent les groupes ; **PPFA :** poids de la biomasse aérienne fraîche ; **PBAS :** poids de la biomasse aérienne sèche ; **P1000 :** poids de 1000 graines. Dans une même colonne, les chiffres suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de probabilité de 0,05 selon le test de Fisher.

Ce tableau montre que les moyennes de diamètre des tiges, sont différentes mais la différence n'est pas très significative. Ce sont plutôt les *actinomycètes* sp. H7, combinaison O19-AHB12 et *Actinomycètes* sp. O19 qui ont donné les meilleures biomasses aériennes fraîches avec respectivement 919,70 g ; 918,10 g et 906,30 g. Le meilleur poids en grain a été obtenu avec la combinaison **O19-AHB12** (soit 311,50 g) contre 178, 28g pour le témoin non inoculé.

IV. DISCUSSION

L'effet des bactéries testées dans cette étude sur la croissance de la plante de maïs varie en fonction des souches utilisées. Cependant, toutes les graines de maïs inoculées ont montré une croissance meilleure par rapport aux témoins non inoculés.

Dans les essais en pot, les observations ont été faites dès le début de la germination du maïs des graines inoculées ont montré une germination plus rapide avec un taux de 100% pour *Actinomycètes* sp.AHB12. Cette amélioration du taux de germination observée dans l'étude menée, peut être due à une augmentation de la synthèse des phytohormones comme l'acide indole acétique et de la gibbérelline. C'est une hormone qui déclenche l'activité de α -amylase et d'autres enzymes spécifiques de la germination comme la protéase et la nucléase impliquées dans l'hydrolyse et dans l'assimilation de l'amidon (Gholami et al., 2009). Elle peut être aussi due pour leur capacité à produire la chitinase et l'ACC désaminase. Ces résultats sont

supérieurs à ceux obtenus par Fatima et al (2009) qui sont de 81% de taux de germination avec une combinaison d'*Azotobacter* WPR-51 et *Azospirillum* WM-3. Mais Noumavo et al. (2013) ont obtenu un taux de 100% de germination après l'inoculation des semences avec différents PGPR, ce qui va dans le même sens que les résultats obtenus et confirme que l'inoculation des bactéries peut être un moyen efficace d'améliorer la production agricole. L'inoculation avec *actinomycète* sp.H7 a donné une plus grande biomasse végétale de 25,84% et une croissance moyenne de la taille de 68,96 cm soit une augmentation de la taille du maïs de 27,72% comparés aux plantes témoins non inoculés. Ces résultats sont supérieurs à ceux obtenus par Govindappa et al. (2011), qui après l'inoculation de *Pseudomonas fluorescens* DSM 50090 ont obtenu à partir de plantes de maïs 19,93% de biomasses de plus que les plantes non inoculées. La croissance des plants causée par l'inoculation des semences avec les souches PGPR sur les cultures telles que le maïs (Egamberdiyeva, 2007), le blé (Salantur et al., 2006), a été attribuée à la fixation de l'azote, la solubilisation du phosphore et la production de phytohormones mais aussi pour leur capacité à protéger les plantes contre les pathogènes (Burd et al., 2000).

Ces résultats sont concordants à ceux obtenus par Noumavo et al. (2013) qui ont obtenu 21,75% et 19,93% respectivement avec d'*Azospirillum lipoferum* DSM 1691 et *Pseudomonas fluorescens* DSM 50090. Dans une étude menée par Asghar et al. (2002) l'inoculation des grains de moutarde avec des PGPR augmente la taille de 56,5% comparée au témoin. Meunchang et al. (2006) ont obtenu une augmentation de la taille du riz de 66,2% avec l'inoculation des PGPR combinés aux fertilisants chimiques en 75 jours de croissance. Ceux-ci montrent que la réponse des PGPR varie en fonction des souches microbiennes et des espèces des plantes. Dans les essais en station, toutes les souches d'inoculation ont montré une meilleure amélioration de la croissance du maïs comparées aux témoins non inoculés. A la récolte une augmentation de la biomasse aérienne fraîche a été observée chez *Actinomycètes* sp. H7 et la combinaison O19-AHB12 avec respectivement 919,70g et 918,10g contre 736,70g pour le témoin non inoculé soit une amélioration de la biomasse fraîche de 24,84% et 24,62% respectivement. En effet les résultats concordent avec ceux obtenus par Adjanohoun et al. (2011) qui ont rapporté que les valeurs moyennes de la biomasse aérienne fraîche des plants de maïs inoculés avec *Pseudomonas aeruginosa* ont significativement augmenté de 23,40% la valeur moyenne de la biomasse aérienne fraîche obtenue au niveau des plants de maïs non inoculés sur sol ferralitique non dégradé au Sud-Bénin. Les mêmes auteurs ont obtenu une augmentation de la biomasse aérienne fraîche de 59,57% avec *Pseudomonas*

fluorescens. Le poids de la matière sèche le plus important a été obtenu avec la souche d'*Actinomycètes* sp. H7 avec une moyenne de 405,68 g contre 297,36 g pour le témoin non inoculé soit une augmentation de 36,32%. En effet les résultats concordent avec ceux obtenus par Gabriel et al. (2010) qui ont obtenu une augmentation de la biomasse sèche de 38,8% avec *Azospirillum*.

Les différences observées dans les résultats peuvent être liées aux conditions d'expérimentation, les variétés des cultures, les périodes de semis mais aussi la capacité des souches à compéter en milieu réel. Aussi les expérimentations ont été réalisées en pleine saison sèche avec des températures comprises entre 40°C et 46°C, qui peuvent affecter considérablement la croissance des plantes à plusieurs niveaux en jouant principalement sur la photosynthèse. Forcément ces conditions peuvent jouer sur le rendement et la biomasse à la récolte.

V. CONCLUSION:

Cette étude a confirmé l'effet promoteur des PGPR sur la germination, la croissance et le rendement du maïs. L'inoculation individuelle des graines de maïs avec les *actinomycètes* H7, O19, AHB12 et leurs différentes combinaisons ont augmenté considérablement la croissance et le rendement du maïs dans les essais en serre et en station. Toutes les souches testées ont mieux donné que les témoins.

REFERENCES

- [1] Adjanohoun A., Pacôme A Noumavo, Sikirou R , Allagbe M , Gotoechan-Hodonou H, Doss K.K, Yehouenou B, Glele Kakaï R, Baba-Moussa L. (2012). Effets des rhizobactéries PGPR sur le rendement et les teneurs en macroéléments du maïs sur sol ferralitique non dégradé au Sud-Bénin. Int. J. Biol. Chem. Sci. 6(1): 279-288
- [2] Ahmad F, Ahmad I, Khan M.S. (2005). Indole acetic acid production by the indigenous isolates of azotobacter and fluorescent pseudomonas in the presence and absence of tryptophan. Turk J Biol. 29, 29-34.
- [3] Alikhani H.A., Saleh-Rhastin N and Antoun H. (2006). Phosphate solubilisation activity of rhizobia native to Iranian soils. Plant and Soil, 287; 35-41.
- [4] Asghar H., Zahir Z., Arshadand M, Khaliq A. (2002). Relationship between in Vitro Production of Auxins by Rhizobacteria and Their Growth-Promoting Activities in *Brassica juncea* L. Biology Fertility of Soils, Vol.35, No. 4, pp. 231-237. doi:10.1007/s00374-002-0462-8
- [5] Azcon R. (2000). Papel de la simbiosis micorrizica y su interaccion con otros microorganismos rizosfericos en el crecimiento vegetal y sostenibilidad Agricola; in: *Ecologia, fisiologia y biotecnologia de la micorriza arbuscular*. Edited by Alarcon, A. and Ferrera-Cerrato, R.; 1-35; Colegio

- de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Estado de Mexico. Mundi Prensa, Mexico.
- [6] Babana A.H., Dicko A.H., Maiga K and Traoré D. (2013). Characterization of rock phosphate-solubilizing microorganisms isolated from wheat (*Triticum aestivum* L.) rhizosphere in Mali. *Journal of Microbiology and Microbial Research*. Vol . 1 (1), pp. 1-6.
- [7] Babana, A.H., Bathily, H., Samaké, F., Traoré, D., Dicko, A.H. (2011). Microbiological control of bacterial soft rot caused by *Bacillus pumilus* Od23 on potato in Mali. *British Microbiology Research Journal* 1(3): 41-48.
- [8] Burd G. I., D. G. Dixon and B. R. Glick. (2000). "Plant Growth Promoting Rhizobacteria That Decrease Heavy Metal Toxicity in Plants," *Canadian Journal of Microbiology*, Vol. 33, No. 3, pp. 237-245. doi:10.1139/w99-143
- [9] Chakraborty B.N., Chakraborty U., Saha A., Sunar K and Dey P.L. (2010). Evaluation of Phosphate Solubilizers from Soils of North Bengal and Their Diversity Analysis. *World Journal of Agricultural Sciences* 6 (2): 195-200.
- [10] Dicko A.H. 2012. Isolement et Caractérisation d'Actinomycètes à Activité Antibactérienne et Antifongique des Sols Rhizosphériques de Kabala. Mémoire de DEA, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako. 50 pp.
- [11] Dicko A.H., Babana A.H., Maïga K., Kassogué A., Traoré D and Faradj F.A. (2013). Isolation and characterization of crop rhizospheric actinomycetes with antimicrobial activity in Mali. *African Journal of Applied Microbiology Research*, 2(1): 1-8.
- [12] Döbereiner J., Baldani V.L.D., Baldani J.I. (1995). Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não-leguminosas. Brasília: EMBRAPA-SPI: Itagui: EMBRAPA-CNPAB. p. 19-25.
- [13] Egamberdiyeva D. (2007). The Effect of Plant Growth Promoting Bacteria on Growth and Nutrient Uptake of Maize in Two Different Soils. *Applied Soil Ecology*, Vol. 36, No. 2-3, pp. 184-189.
- [14] Fatima Z., Saleemi M., Zia M., Sultan T., Aslam M., Rehman R., Fayyaz Chaudhary M. (2009) "Antifungal Activity of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Isolates against *rhizoctonia solani* Wheat," *African Journal of Biotechnology*, Vol. 8, No. 2, pp. 219-225.
- [15] Gholami A., Shahsavani S, Nezarat S. (2009) The Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Germination, Seedling Growth and Yield of Maize. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol. 49, pp. 19-24.
- [16] Govindappa M., Ravishankar V., Rai and S. Lokesh .(2011). "Screening of *Pseudomonas fluorescens* Isolates for Biological Control of *Macrophomina phaseolina* Root-Rot of Safflower," *African Journal of Agricultural Research*, Vol. 6, No. 29, , pp. 6256-6266.
- [17] Hafsa Cherif . (2014). Amélioration de la croissance du blé dur en milieu salin par inoculation avec *Bacillus* sp. et *Pantoea agglomerans* isolées de sols arides. These de doctorat, Université Ferhat Abbas Sétif 1. 177 pages
- [18] IITA, (2006). Annual Report. 77pages.
- [19] Júnior F.P. I, Duarte Pereira G P, Perin L, Mesquita da Silva L, Baraúna A C, Alves F M, Passos S.R., Zilli J.E. (2013). Diazotrophic bacteria isolated from wild rice *Oryza glumaepatula* (Poaceae) in the Brazilian Amazon. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* Vol. 61 (2): 991-999
- [20] Meunchang S, Thongraar P, Sanoh S, Kaewsuralikhit S, Ando S. (2006). Development of rhizobacteria as a biofertilizer for rice production. International Workshop on Sustained Management of the Soil-Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use, 16 –20 October. P: 1-7
- [21] Noumavo P.A., Eméric K., Yédéou O. D., Adolphe A., Marcellin A., Rachidatou S., Emma W. G., Simeon O. K, Lamine B.M. (2013). Effect of Different Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Maize Seed Germination and Seedling Development. *American Journal of Plant Sciences*, Vol.4, pp.1013-1021.
- [22] Pikovskaya, R.I. (1948). Mobilization of phosphorus in soil in connection with the vital activity of some microbial species. *Mikrobiologiya*. 17: 362-370.
- [23] Ruget F., Bonhomme R, Chartier M. (1996). "Estimation Simple de la Surface Foliaire de Plantes de Maïs en Croissance," *Agronomie*, Vol. 16, No. 9,, pp. 553- 562. doi: 10.1051/agro:19960903
- [24] Rupela O. P., Gopalakrishnan S., Krajewski M, Sriveni M. (2003). A novel method for the identification and enumeration of microorganisms with potential for suppressing fungal plant pathogens. *Biol Fertil Soils*, 39:131–134.
- [25] Saadoun I., Rawashdeh R., Dayeh T., Ababneh Q and Mahasneh A. (2007). Isolation, Characterization and Screening for Fiber Hydrolytic Enzymes-Producing *Streptomyces* of Jordanian Forest Soils. *Asian network for Scientific Information. Biotechnology* 6 (1); 120-128.
- [26] Salantur A., Ozturk A and Akten S. (2006) Growth and Yield Response of Spring Wheat (*Triticum aestivum* L.) to Inoculation with

- Rhizobacteria. *Plant, Soil and Environment*, Vol. 52, No. 3, pp. 111-118.
- [27] Sompong M., Thongraar P., Sanoh S., Sirilak K. and Shotaro A. (2006). Development of Rhizobacteria as a Biofertilizer for Rice Production. International Workshop on Sustained Management of the Soil-Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use 16 – 20 October, 12p.
- [28] Steel, R., G., D. Torrie, J., H. (1980). Principles and procedures of statistics, a biometrical approach. MacGraw-Hill Book Co., New York.
- [29] Wu SC, Cao ZH, Li ZG, Cheung KC, Wong MH. (2005). Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: A greenhouse trial. *Geoderma* 125: 155-166.
- [30] Zafar-Ul-Hye M., Zahir Z.A., Shahzad S.M., Naveed M., Arshad M, Khalid M. (2007). Preliminary screening of rhizobacteria containing acc-deaminase for promoting growth of lentil seedlings under axenic condition. *Pak. J. Bot.*, 39(5): 1725-1738,
- [31] Zaki A.E.F., Samira R.M., Yahia E.Z, Samar I. (2003). DNA-fingerprints and Phylogenetic Studies of Some Chitinolytic Actinomycete Isolates. *Biotechnology Volume 2 number 2*; p 131-140

Identification et caractérisation de souches de *Bacillus Thuringiensis* à activités insecticides et favorisant la croissance et la vigueur des plantes de maïs

Adounigna KASSOGUÉ^{1*}, Kadia MAÏGA¹, Rokiatou FANÉ¹, Amadou Hamadoun BABANA¹, Amadou Hamadoun DICKO¹, Fatouma A. FARADJI¹ et Diakaridia TRAORÉ².
Laboratoire de recherche en Microbiologie et Biotechnologie microbienne, Faculté des Sciences et Techniques, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako

*courriel de correspondance: adoukass@yahoo.fr

RESUME : L'utilisation des biopesticides pour lutter contre les insectes ravageurs est en plein développement à travers le monde. Des recherches sont effectuées dans le même sens au Mali pour développer des technologies et méthodes de lutte biologique efficace contre les ravageurs du riz et du maïs (Babana *et al* 2011; Kassogué *et al* 2014).

L'objectif de ce travail est d'identifier et de caractériser des *Bacillus thuringiensis* (Bt) à activité insecticide et favorisant la croissance des céréales. Pour atteindre cet objectif, nous avons isolé des souches de *Bacillus thuringiensis* de différents échantillons de sols de certaines zones agricoles du Mali: Niono, Cinzana (région de Ségou), Bougouni, Fanidiana (Région de Sikasso), Diré (région de Tombouctou), Bozola, Daoudabougou (District de Bamako), ICRISAT, CAA, Samanko et Dily (région de Koulikoro).

Les souches isolées ont été identifiées, caractérisées et sélectionnées selon leurs aspects microscopiques, leur activité insecticide et leur activité PGP. Quatre-vingt-quatre (84) souches bactériennes ayant un aspect caractéristique des Bt ont été isolées. Après caractérisation des isolats retenus, trente-neuf (39) souches ont été identifiées comme étant des Bt. Avec les travaux préliminaires 17 souches ont été testées pour vérifier leur activités insecticide et PGP (Plant Growth Promoting). Onze (11) souches présentaient un taux de mortalité supérieur ou égale à 80% sur l'*Helicoverpa armigera*.

Mots-clés : *Bacillus thuringiensis*, Identification, PGP, Insecticide, Mali.

I. INTRODUCTION

Au Mali, au cours des dernières années, une baisse importante des rendements des céréales a été notée.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer ses baisses de rendement comme la pauvreté des sols, la dégradation des sols, les mauvaises pratiques culturales et maladies (insectes, pathogènes...)

Parmi ces facteurs, la pauvreté des sols et les maladies constituent les contraintes principales au Mali.

Les insecticides et fertilisants chimiques ont été généralement utilisés pour palier à ces problèmes.

Actuellement, ces produits ne sont pas accessibles aux paysans à faibles revenus car ils sont très chers, en plus les insectes parasites résistent de plus en plus à ces produits chimiques,

Hors du Mali, plusieurs microorganismes, dont les Bts, ont été isolés et caractérisés de sols rhizosphériques des plantes.

Ces microorganismes, ou leurs produits de sécrétion, ont été utilisés avec succès contre les insectes parasites et pour améliorer les qualités des sols

Au Mali, Malgré l'importance de ces microorganismes, à notre connaissance, peu de travaux ont été initiés sur leurs utilisations pour lutter contre les insectes parasites ou améliorer la

croissance des cultures.

D'où la nécessité d'identifier et de caractériser des souches de Bt à activités insecticides et PGP

II. MATERIEL ET METHODES :

2.1 - Site d'échantillonnage :

Les échantillons de sols ont été collectés dans les champs des différentes localités du Mali : Niono, Cinzana (Région de Ségou), Bougouni, Fanidiana (Région de Sikasso), Diré (région de Tombouctou), ICRISAT, CAA, Samanko, Dily (Région de Koulikoro) et Bozola, Daoudabougou (District de Bamako).

Les sites d'échantillonnage ont été choisis en fonction de certaines zones agricoles par excellences et de certaines zones polluées du district de Bamako. Dans ces sols, il est probable d'avoir une diversité de souches de Bt pouvant lutter contre les larves d'insectes (principalement la *Cécidomyie* du riz et les caterpillars du maïs) qui y prolifèrent.

2.2 Prélèvement et préparation des échantillons :

Des échantillons de 500 g de sol ont été prélevés dans les différents sites à l'aide d'une petite pioche de binage. Ces échantillons ont été mis dans des plastiques préalablement stérilisés, et acheminés au

laboratoire où ils ont été conservés dans un réfrigérateur à 4°C avant l'analyse.

2.3 Isolement et croissance des souches de *Bacillus thuringiensis*

L'isolement des souches de Bt a été effectué selon la méthode décrite par **Valicente et al. (2008)**. Un gramme de sol a été homogénéisé avec de l'eau distillée puis, 1ml d'homogénat a été prélevé et mis dans un tube à essai contenant 10 ml d'eau distillée, le mélange a été agité à l'aide d'un vortex pendant 10 secondes. Après cette étape 1ml est prélevé, ajouté à 10 ml LB (Luria-Bertani) tamponné par l'acétate de sodium (0,25M) et incubé à 30°C sous agitation à 150 rpm pendant 4 heures. Par la suite, la suspension est chauffée à 80°C pendant 3 minutes. Les colonies de Bt ont été formées par étalement d'1 ml de chaque solution obtenue d'une série de dilution (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4}) de la suspension chauffée sur un milieu gélosé. Les boîtes ont été incubées à 30 °C pendant 48h pour permettre la germination des spores de Bt.

2.4 Identification microscopique:

2.4.1 Par microscope optique:

Après la croissance bactérienne plusieurs repiquages ont été effectués pour purifier d'avantage les souches de Bt. La révélation microscopique de la présence des Bt se fait à l'aide de deux méthodes de coloration classique :

2.4.1.1 La coloration gram:

La technique de coloration de Gram a été utilisée selon la méthode décrite par **D. Douey et I. Iugovaz (2003)**.

2.4.1.2 La coloration avec le vert de malachite

Cette coloration est spécifique au Bt, elle met en jeu l'utilisation du vert de malachite qui a été appliqué sur la lame pendant 20 minutes à 50°C, ensuite un lavage avec de l'eau distillée.

Enfin, de la safranine a été ajouté pendant 5 minutes avec lavage à l'aide de l'eau stérile.

Puis On l'examine sous microscope au G x 100 pour vérifier la présence de spores libres et de cristaux. Les cristaux sont généralement plus petits que les spores (**D. Douey et I. Iugovaz., 2003**).

2.4.2 Par microscope à contraste de phase:

2.4.2.1 Coloration avec le bleu de coomassie :

Nous avons également utilisé la technique de coloration décrite par (**Sharif FA and Alaeddinoglu N. G. 1988**); pour mettre en évidence les cristaux. Les frottis sont colorés avec une solution de bleu de Coomassie (0, 25% bleu de Coomassie, 50% éthanol, 7% acide acétique) pendant 3 minutes, lavés à l'eau distillée, séchés et observés au microscope. Avec cette méthode, les cristaux libérés sont colorés en

violet et se distinguent facilement des spores qui sont incolores et de forme ovale ou ronde selon l'espèce en cause; les cellules végétatives apparaissent comme des bâtonnets colorés en violet.

2.4.2.2 Observation à l'état frais entre lame et lamelle

Après observation au microscope optique les mêmes préparations que celles des colorations différentielles des spores et des cristaux des souches de *Bacillus thuringiensis* retenues ont été observées au microscope à contraste de phase, car les corps parasporaux sont nettement distinguables au microscope à contraste de phase (**Bravo et al. 2007**); (**Rampersad et Ammons 2002**).

2.5. Activité insecticide de Bt sur *Helicoverpa armigera*

Dans le but de tester l'effet des bio-insecticides, des souches de Bt sur des larves de l'*Helicoverpa armigera* au stade larvaire 1 et 3, nous avons utilisé la culture de différentes souches ou les extraits protéiques de ces souches. Le test d'activité a été réalisé dans des boîtes de Petri.

2.5.1 Effet de différentes souches de Bt sur des larves d'*Helicoverpa armigera*

2.5.1.1 Préparation des cultures des souches de Bt

Les souches bactériennes ont été étalées sur quatre (04) boîtes de Pétri déjà purifier au préalable et mis à l'incubation pendant 48 à 72 heures. Les colonies obtenues après l'incubation des 04 boîtes ont été toutes raclées pour inoculer 1 litre de la solution LB broth dans un erlenmeyer de 2 litres. Pour l'octroi de sporulation bactérienne, la solution obtenue a été incubée à 30°C pendant 72 heures sous une agitation de 180 rpm. La culture est appliquée directement sur les larves d'*Helicoverpa armigera* pour étudier la toxicité de différentes souches isolées (**Dulmage et aizawa 1981**).

2.5.1.2 Préparation du milieu d'élevage des larves d'*Helicoverpa armigera*

Le milieu artificiel (diète) d'élevage d'*Helicoverpa armigera* a été fabriqué sur place au laboratoire de biopesticide de LaboREM-Biotech. Ainsi, pour réaliser le test de l'activité bio-insecticide une quantité du milieu d'élevage des larves a été préparée à raison de 30 g par boîte de Petri.

2.5.1.3 Traitement des larves par les cultures des souches de *B. thuringiensis*

Le test consiste à préparer un lot de boîtes de Pétri (9cm de diamètre) contenant chacune 30g de milieu d'élevage et 10 larves d'*Helicoverpa armigera* au stade larvaire 3. Les boîtes de Petri ont été trouées à la face supérieure permettant ainsi l'aération du milieu à l'intérieur des boîtes.

La méthode consiste à imprégner les larves dans leur milieu d'élevage avec 20 ml des cultures de bactérienne de Bt préparées au préalable et avec 20 ml d'eau distillée pour le témoin. Trois répétitions ont été réalisées pour chaque souche ainsi que pour le

témoin. Après 72 h d'exposition aux toxines de Bt, les larves mortes sont comptées pour déterminer les taux de mortalités larvaires. Lorsque le taux de mortalité larvaire est $>$ à 30%, une extraction de spore-cristal a été effectuée.

2.5.2 Effet des suspensions spore-cristal purifiées des différentes souches de Bt sur des larves d'*Helicoverpa*

2.5.2.1 Purification des suspensions des cristaux et des spores

Les souches de *Bacillus thuringiensis* isolées, ont été inoculées dans 100 ml de LB. Après incubation à 30°C pendant 72 h sous agitation de 150 rpm, les spores et les cristaux ont été rassemblés dans les culots après centrifugation pendant 15 min à 15 000 G et à 4°C. Les culots obtenus ont été lavés trois fois avec un tampon phosphate saline (PBS) contenant 0,005 % Triton X-100 dans le but de favoriser l'éclatement des cellules bactériennes. Par la suite les culots ont été conservés pendant une nuit à -80°C pour la lyophilisation. Une fois lyophilisés, le test des activités insecticides est effectué (Weathersbee III et al. 2006).

2.5.2.2 Traitement des larves par le mélange spore-cristal

Dix Plant Growth Promoting larves d'*Helicoverpa armigera* au 3ème stade ont été placées dans des boîtes de Petri (9cm de diamètre) contenant du papier filtre blanc imprégné avec la solution de toxines ou avec de l'eau distillée pour le témoin, avec 3g du milieu d'élevage des larves (Aboussaid et al. 2009). Une gamme de dose croissante des delta-endotoxines des souches de *Bacillus thuringiensis* a été appliquée (25mg, 50mg, 75mg et 100mg) (Hassani et Gaouar Benyelles 2008). Trois répétitions ont été réalisées pour chaque souche ainsi que pour le témoin. Après 48h d'exposition, le taux de mortalité est noté.

2.6 Activité PGP des souches de Bt

2.6.1 Production de la cellulase

L'activité cellulolytique des isolats a été mise en évidence par inondation des cultures de 48 h sur milieu TSA à 1 % de cellulose (incubation de 30°C) par une solution de rouge congo (Panreac-Barcelona-Espana) à 1 mg/mL pendant 15 mn puis d'une solution de NaCl à 1M pendant 15 mn (Sadfi-Zouaoui et al., 2008).

2.6.2 Production de la chitinase (Production d'enzyme hydrolytique) :

Les activités extracellulaires de la chitinase sécrétées par les bactéries testées ont été mises en évidence sur milieu solide contenant 0,5 % de chitine de coquille de crabe (SIGMA C 9752, USA) pour la chitinase.

Le milieu solide utilisé est à base de sel avec par litre : 7g de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 1g de K_2HPO_4 , 1g de NaCl, 0,1 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,5 g d'extrait de levure, 15 g d'agar plus 5% de NaCl (w/v) et incubé pendant 7 jours à 30°C.

2.6.3 La solubilisation du phosphate:

Ce test permet d'évaluer la capacité des isolats à

solubiliser les phosphates sur milieu phosphate de Pikovskaya (PVK) (Pikovskaya, 1948). Etant un milieu de base préconisé à l'isolement des microorganismes solubilisant les phosphates insolubles, il contient du $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ comme seule source de phosphate (Annexe 1). Ce test a été réalisé par la méthode de solubilisation sur milieu solide.

La capacité de solubilisation des phosphates a été testée selon la méthode décrite par Nautiyal (1999). Un volume de 10µl de chaque culture bactérienne a été déposé en spot à la surface de la gélose PVK. Après incubation à 30°C/7 jours, un halo de transparence apparaît autour des colonies ayant la capacité de solubiliser les précipités de phosphates. Les résultats sont exprimés par la mesure du diamètre de la zone transparente autour de la colonie (diamètre total moins le diamètre de la colonie) permettant ainsi d'évaluer l'intensité de la solubilisation $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$.

2.6.4 Production de sidérophores

La production de sidérophores a été testée sur milieu au Chrome Azurol S ou CAS liquide et gélosé (Annexe 3) (Shwyn et Neilands, 1987).

➤ Production de sidérophores sur milieu solide

La production des sidérophores sur milieu solide a été réalisée sur milieu King B solide ensemencé en spot de 10 µl de la culture bactérienne et incubé à 30°C/48h. Après croissance, 15 ml de la gélose au CAS à 45°C (solution CAS + 0.9% d'agarose) ont été coulés directement sur la culture bactérienne. Après contact de quelques heures à température ambiante, un changement de couleur du bleu à l'orange apparaît autour de la colonie productrice de sidérophores. Le changement de couleur est dû au transfert des ions ferriques du CAS vers les sidérophores. Le calcul du rapport (diamètre du halo/diamètre de la colonie bactérienne) permet de comparer les différences de production entre les souches bactériennes. (Shwyn et Neilands, 1987)

2.6.5 Synthèse de l'acide indole acétique (AIA)

❖ Estimation de la production d'AIA

La production d'IAA est déterminée selon la méthode standard (Bric et al., 1991). Une colonie isolée est étalée sur gélose Luria-Bertani additionnée de: 5 mM de L- tryptophane, 0.06% de SDS, et 1% de glycérol. La gélose est recouverte de papier Whatman n° 1 (80mm de diamètre), puis incubée à 28°C. Le papier est récupéré, puis traité avec le réactif de Salkowski (2% de FeCl_3 à 0.5M dans 35% d'acide perchlorique). Les disques de papier filtre sont saturées dans une boîte de Pétri en les plongeant directement dans le réactif, après 10 à 30 min. La production d'IAA et/ou de ses analogues se manifeste par la formation d'un halo rose rouge autour des colonies, et pour les souches productrices d'autres types d'indoles la coloration est jaune à jaune brune (Naik et Sakthivel, 2006).

III. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Souches bactériennes isolées

Les résultats d'analyse des échantillons de sols provenant des différents sites sont consignés dans le tableau 1.

Tableau 1: Distribution des *Bacillus thuringiensis* isolés de différents échantillons de sol collectés dans les différentes régions du Mali.

Sites d'échantillonnage	Nombre moyen de colonies bactériennes (UFC/g)	Nombre d'Isolats	Nombre de Bt (souches retenues)	Bt index (%)
Samanko	46	5	1	2,1
CAA	80	5	2	2,5
ICRISAT	54	9	4	7,4
Dily	55	6	6	10,90
Château	60	7	3	5
Cinzana	73	11	7	9,58
Niono	34	7	4	11,76
Diré	130	6	2	1,5
Fanidiama	68	8	2	2,9
Bougouni	70	8	2	2,8
Bozola	375	11	8	2,1
Daoudabougou	2181	14	12	0,5

L'analyse de ces résultats a montré que 2,1% des bactéries isolées de Samanko étaient constituées de Bt; 2,5% des isolats bactériens de CAA; 7,4% de l'ICRISAT; 10,90 % de Dily; 5% de château; 9,58% de Cinzana; 11,76 de Niono; 1,5% de Diré; 2,9% de Fanidiama et 2,8 de Bougouni étaient des Bt. D'après les résultats d'Aramideh *et al.* (2010), dans une étude de caractérisation et d'évaluation du pouvoir pathogène de *Bacillus thuringiensis* dans la province Ouest de l'Azerbaïdjan en Iran, a obtenu des index de Bt compris entre 0,041 à 0,147 ce qui est pratiquement similaire à nos résultats qui se situent entre 0,007 à 0,117. Nos résultats ont montré également que l'index de Bt des échantillons de Niono est le plus élevé tandis que celui de Daoudabougou était le plus bas.

3.2 Identification par microscopie optique

3.2.1 Observation à l'état frais et après coloration Gram

Toutes les souches représentant les différentes colonies ont été colorées pour la détermination de leur Gram. Les résultats ont montré que toutes les souches étaient de Gram positif et toutes mobiles à l'état frais.

3.2.2 Coloration différentielle des spores et des cristaux : par le vert de malachite et le safranine

L'étude des souches retenues par microscope optique après coloration, permet de mettre en évidence la présence du corps d'inclusion parasporal qui n'est présent que chez *Bacillus thuringiensis*.

Cette coloration met en valeur les spores et les cristaux. En effet, l'observation par microscopie optique après une coloration avec le vert de malachite montre que les spores sont ovales à position centrales et colorées en vert tandis que les cellules et les cristaux sont colorés en rose (Figure 1). Ces caractéristiques rappellent celles de *Bacillus thuringiensis*. Les résultats de cette étude ont permis d'identifier 39 souches de *Bacillus thuringiensis* parmi 84 souches de la collection étudiée.

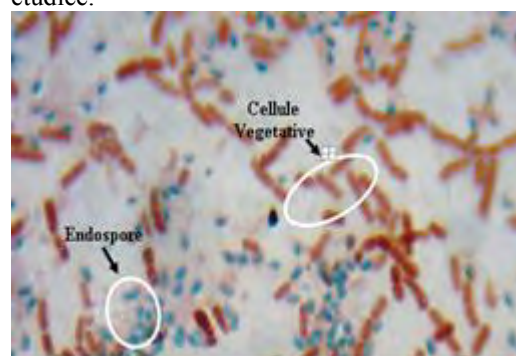


Figure 1: Observation au microscope optique (Gx100)

3.3 Identification de différents isolats par microscopie à contraste de phase

❖ Avec le bleu de Coomassie

La Figure 2 montre qu'en observation microscopique Gx100 avec huile à immersion des frottis bactériens colorés avec le bleu de coomassie, les spores se distinguent facilement des cristaux. Les cellules et les cristaux sont colorés en bleu tandis que les spores sont ovales, centrales et incolores.

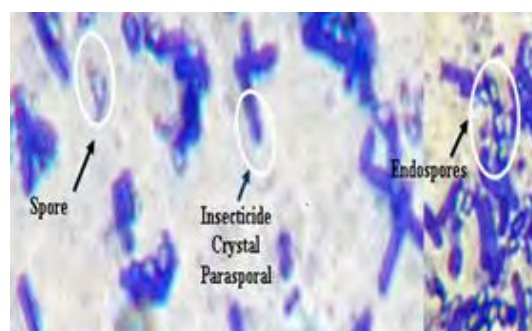


Figure 2: Observation au microscope Contraste de Phase (Gx100)

❖ Observation au microscope à contraste de phase à l'état frais entre lame et lamelle

En changeant le contraste, l'observation

microscopique montre la présence des spores qui se manifestent par des zones claires transparentes et des cristaux protéiques parasporales opaques visualisées en grossissement 10 x100. Ces cristaux rotéiques caractérisent les souches de *Bacillus thuringiensis* (Figure 3).

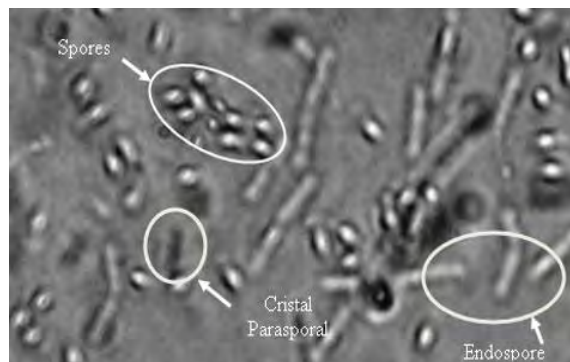


Figure 3: Observation simple entre lame et lamelle au microscope Contraste de Phase

3.4 Activité insecticide de Bt sur l'*Helicoverpa armigera*

Le test a été réalisé sur un effectif de 30 larves
Le résultat d'activité insecticide de quelques souches de Bt sur l'*Helicoverpa armigera* (sur un effectif de 30 par souches) consigné dans le tableau 3 ci-dessous

Taux de Mortalité des larves d' <i>Helicoverpa armigera</i> (%)											
	0	100	95	90	85	80	75	70	60	55	
Sou	T	DL ₁	Dr ₂ Bt.L ₂ CH ₂	S ₁	Dr ₃ D ₃ P D ₅	DL ₂ CH ₁ D ₁ P	C ₅ I ₇ D ₂ P	C ₄	B ₄	I ₂	

Sou: Souche; T: Témoin



Figure 4: Activité insecticide de la souche de Bt Dily 1 sur les larves de *H. armigera*

3.5 Activité PGP de quelques souches de *Bacillus thuringiensis*

Tableau 2: Solubilisation du phosphore, production de siderophore et d'enzymes (cellulase et chitinase) par les souches *B. thuringiensis* testées.

Souches de Bt.	Solubilisation du Phosphore	Cellulase	Chitinase	Siderophore	Acide indole Acétique
BtD5	+	-	++	+++	++
BtI4'	+	+	+	-	±
BtI4''	++++	++++	+	+	++++
Dr 3'	+	+	-	+	++++

- Pas de halo, ± Halo pas très clair, + Halo < 1mm, Halo 1 < 2 mm, +++ Halo = 2 mm, ++++ Halo > 2 mm.

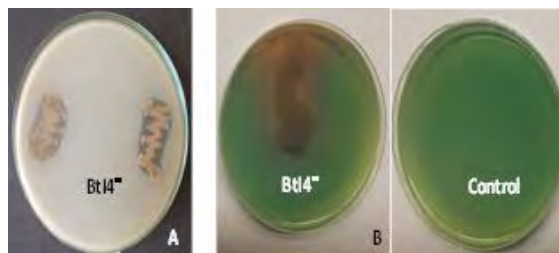


Figure 5: Solubilisation du phosphate (A) et production de siderophores (B) par les souches *Bacillus thuringiensis* isolées de sols agricoles du Mali.

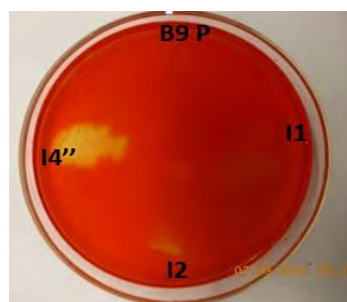
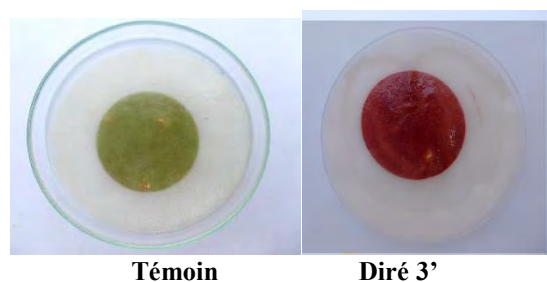


Figure 6 : Production de la cellulase



3.5 Test d'inoculation de quelques souches de Bt avec les grains de maïs cv. Dembagnuma

Table 3. Le maïs cv. Dembagnuma le pourcentage de la germination, la longueur de la racine, la longueur de la partie aérienne et l'indice de la vigueur comme influencée par inoculation simple avec souches de *B. thuringiensis* à activité PGP

	% de Germination	Longueur des racines (cm)	Longueur de la partie aérienne (cm)	Longueur de la plantule (cm)	Indice de la vigueur
Témoin	Traitements	13.26c	7.42d	20.67c	1488.24d
Bt 4'	92b	20.69b	14.22a	34.91b	3211.72b
Bt 4''	94a	22.54a	13.54c	36.08a	3391.52a
Bt D5	86c	20.70b	13.85b	34.55b	2971.30c

For each PGPR Bt treatment (uninoculated or Bt) within each column means followed by the same letter are not statistically different according to the Fisher protected Lsd test ($P < 0.05$).

Le Test qualitatif de solubilisation du phosphore sur NBRIP milieu contenant du phosphate tricalcique en tant qu'unique source de P (Nautiyal CS. 1999) a indiqué que tous les Bt isolés étaient positifs pour la solubilisation du phosphore. La souche Bt I4'' présentait un halo supérieur à 2 mm sur NBRIP (Fig. 1A). Ce résultat confirme les résultats de plusieurs chercheurs qui ont montré la haute solubilisation du phosphore par les bactéries isolées dans les sols rhizosphériques. (Dicko AH. et al., 2013 ; Babana AH. et al 2005 ; Babana AH. et al., 2011).

Du genre *Bacillus* est rapporté à produire les sidérophores (Park YS. 2006). Nos résultats sont en accord avec cela, comme à l'exception de la souche Bt I4', toutes les souches sélectionnées de Bt à activités insecticides, produisent une quantité importante de sidérophores sur le milieu CAS.

Nos résultats ont montré que l'inoculation de semences de maïs avec les souches de *B. thuringiensis* à activité PGP à affecter de manière significative la longueur des racines et la longueur de la partie aérienne par rapport à ceux du maïs non inoculé. Cette amélioration est similaire de la germination des graines, paramètres favorisant la croissance des plantes par les rhizobactéries a été confirmé (Babana AH. et al., 2003 ; Gholami A. et al., 2009), sorgho (Mareque C. et al., 2014) et le mil (Niranjan Raj S. et al., 2003 ; Saxena A. et al., 2013). L'amélioration de la germination des graines par PGPR était également trouvée dans le travail avec le blé (Babana AH et Antoun H 2006) et le riz (Jha Y et Subramanian RB. 2013 ; De Souza R. et al., 2013)

IV. CONCLUSION

Ces résultats nous ont permis d'identifier des souches de Bt pouvant lutter contre les insectes parasites maïs aussi favoriser la croissance des plantes de maïs.

REFERENCES

- [1] Babana AH, Samaké F, Maïga K. Characterization of some agricultural soils:

- Presence and activity of Tilemsi rock phosphate-solubilizing *thiobacilli*. BMRJ. 2011 ; 1(1) :1-9.
- [2] Kassogué, A., Maïga, K., Babana, A.H., Dicko, A.H., Fané, R., et Traoré, D. 2014. Isolement et caractérisation biochimique de souches de *Bacillus thuringiensis* (Bt) de certaines localités du Mali. Symposium of Malian Society of applied Sciences, 3-8 August – Bamako – Mali.
- [3] Valicente FH, Tuelher ES, Paiva CEC, Gumaraes MRF, Macedo CV, Wolff JLC (2008). A new baculovirus isolate that does not cause the liquefaction of the integument in *Spodoptera frugiperda* dead larvae. Rev. Bras. De Milho e Sorgo 7(1) :245-255.
- [4] D. Douey et I. Iugovaz., 2003 "Isolement et numération de *Bacillus Cereus* dans les aliments" Direction Générale des produits de santé et des aliments », Ottawa, MFLP 13 p.
- [5] Sharif FA and Alaeddinoglu N. G. (1988). A rapid and simple method for staining of the crystal protein of *Bacillus thuringiensis*. Journal of microbiology. 3: 227-229.
- [6] Rampersad, J. and Ammons, D. (2002). Usefulness of staining parasporal bodies when screening for *Bacillus thuringiensis*. J. Inverteb. Pathol. 79: 203-204.
- [7] Weathersbee III, A.A., Lapointe, S.L., Schatters, R. G. (2006). Activity of *Bacillus thuringiensis* isolates against *Diaprepes abbreviatus* (Coleoptera: Curculionidae). Florida Entomologist. 89 : 441-448.
- [8] Aboussaid, H., Elmassoussi, S. et Oufdou, K. (2009). Activité insecticide d'une souche marocaine de *Bacillus thuringiensis* sur la mouche méditerranéenne : *Ceratitis capitata* (wied.) (Diptera: Tephritidae). Afrique Sci. 5:160-172.
- [9] Babana AH, Samaké F, Maïga K. 2011. Characterization of some agricultural soils: Presence and activity of Tilemsi rock phosphate-solubilizing *thiobacilli*. BMRJ.1(1):1-9.
- [10] Hassani, F. and Gaouar, B. N. (2008). Application of *Bacillus thuringiensis* (Bti) struggling microbiological control of the fruit fly *Ceratitis capitata* (wied)(Diptera: Tephritidae). Sci. 3: 10-13.
- [11] Sadfi-Zouaoui N., Essghaier B., Hajlaoui M.R., Fardeau M.L., Cayaol J.L., Ollivier B. and Boudabous A. (2008). Ability of Moderately Halophilic Bacteria to control Grey Mould Disease on Tomato Fruits. J. Phytopathol. 156: 42-52.
- [12] Pikovskaya, R.I. (1948). Mobilization of phosphorus in soil in connection with the vital activity of some microbial species. Mikrobiologiya.17: 362-370.
- [13] Nautiyal C. S. (1999). An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms. FEMS Microbiol. Lett., 170: 260-270.

- [14] Shwyn, B. et J.B. Neilands (1987). Universal chemical assay for the detection and determination of siderophores. *Ann. Biochem.* 160: 47-56.
- [15] Bric, J. M., Bostock, R. M. and Silverstone, S. E., 1991. Rapid in situ assay for indoleacetic acid production by bacteria immobilized on nitrocellulose membrane. *Appl. Environ. Microbiol.* 57: 535–538.
- [16] Naik, P. R. and Sakthivel, N., 2006. Functional characterization of a novel hydrocarbonoclastic *Pseudomonas* sp. strain PUP6 with plant-growth-promoting traits and antifungal potential. *Res. Microbiol.* 157: 538–546.
- [17] Aramideh S., Saferalizadeh M.H., Pourmirza A.A., Bari M.R., Keshavarzi M and Mohseniazar M. 2010. Characterization and pathogenic evaluation of *Bacillus thuringiensis* isolates from West Azerbaijan province-Iran. *African Journal of Microbiology Research* Vol. 4 (12) pp. 1224- 1229.
- [18] Dicko AH, Babana AH, Maïga K, Traoré D, Kassogué A, Faradji FA, Fane R. 2013. Isolation and characterization of crop rhizospheric actinomycetes with antimicrobial activity in Mali. *African Journal of Applied Microbiology Research*. 2(1):1-8.
- [19] Babana AH, Antoun H. 2005. Biological system for improving the availability of Tilemsi phosphate rock for wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivated in Mali. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 72:147-152.
- [20] Babana AH, Bathily H, Samaké F, Traoré D, Dicko AH. 2011. Microbiological control of bacterial soft rot caused by *Bacillus pumilus* Od23 on potato in Mali. *British Microbiology Research Journal*.;1 (3): 41-48.
- [21] Park YS, Choi ID, Kang CM, Ham MS, Kim JH, Kim TH. 2006. Functional identification of high-affinity iron permeases from *Fusarium graminearum*. *Fungal Genet Biol.* 43 :273–282.
- [22] Babana AH. 2003. Mise au point d'un inoculant biologique pour le blé irrigué du Mali. Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, Canada.138. (French).
- [23] Gholami A, Shahsavani S, Nezarat A. 2009. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. *Int J Biol Bimolecular, Agric, Food, Biotechnol. Eng.* 3(1):9-14.
- [24] Mareque C, Taulé C, Beracochea M, Battistoni F. 2014. Isolation, characterization and plant growth promotion effects of putative bacterial endophytes associated with sweet sorghum (*Sorghum bicolor*(L) Moench). *Annals Microbiol.* 65(2):1057-1067.
- [25] Niranjan Raj S, Chaluvaraju G, Amruthesh KN, Shetty HS, Reddy MS, Kloepper JW. 2003. Induction of growth promote on and resistance against downy mildew on pearl millet (*Pennisetum glaucum*) by rhizobacteria. *Plant Dis.* 87:380-384.
- [26] Saxena A, Raj N, Sarosh BR, Kini R, Shetty HS. 2013. Rhizobacteria mediated growth enhancement in Pearl millet. *Indian J Sci Res.* 4(2):41-44.
- [27] Babana AH, Antoun H. 2006. Effect of Tilemsi phosphate rock solubilizing microorganisms on phosphorus-uptake and yield of field grown wheat in Mali. *Plant and Soil.*287:51-584.
- [28] Jha Y, Subramanian RB. 2013. Root associated bacteria from the rice antagonizes the growth of *Magnaporthe grisea*. *J Plant Pathol Microb.* 4:2.
- [29] De Souza R, Beneduzi A, Ambrosini A, da Costa PB, Meyer J, Vargas LK, Schoenfeld R, Passaglia LMP. 2013. The effect of plant growth-promoting rhizobacteria on the growth of rice (*Oryza sativa* L.) cropped in southern Brazilian fields. *Plant and Soil.* 366(1) :585-603.

Adsorption du glyphosate dans les sols de la zone Office du Niger au Mali

B. TRAORÉ^{1*}; B.B. TRAORÉ¹; A. DIALLO¹; C. DEMBÉLÉ¹; D. SAMAKÉ¹; S. DAMBÉ¹; S. TRAORÉ¹
; M. PLÉEA¹; F. ELSASS²; J. DUPLAY²; M. MILLET²

1. Laboratoire de Physico-Chimie des Matériaux, FST, USTTB, Bamako
2. Laboratoire des matériaux, surfaces et procédés pour la catalyse, Université de Strasbourg

*Adresse de correspondance : Bacust2@yahoo.fr

RESUME : Le Mali est un pays où l'agriculture constitue le secteur dominant de l'économie. Les paysans utilisent de grandes quantités d'engrais et de pesticides pour accroître les rendements.

Ces pratiques par ailleurs peuvent conduire à la dégradation et à la pollution des sols, des eaux de surface et des eaux souterraines (US Environmental Protection Agency, 1977 ; Cohen *et al.*, 1984 ; Leistra et Boesten, 1989, Schiavon *et al.*, 1995).

Ce risque de pollution pourrait être minimisé si l'on parvient à ajuster les quantités appliquées en fonction de la nature des pesticides et surtout des possibilités de rétention plus ou moins marquées des sols, ces dernières étant liées à leurs teneurs en argiles et/ou en humus.

L'étude a donc consisté à déterminer les caractéristiques des types de sols localement appelés Dian, Danga et Moursi et à explorer les possibilités d'adsorption du type d'herbicide le plus utilisé au Mali : le glyphosate.

Plusieurs méthodes physico-chimiques modernes et de pointes telles que : la granulométrie laser, la diffraction aux rayons X (DRX), l'émission atomique par torche à plasma, la chromatographie liquide haute pression ainsi que des méthodes de modélisations ont été utilisées.

Les résultats montrent que Dian est sableux - limoneux, Danga limon - sableux et Moursi limoneux. Qualitativement, ils sont constitués de quartz, de feldspath et des minéraux argileux tels que la kaolinite, la montmorillonite (argile gonflante) et l'illite.

L'absence du glyphosate dans les échantillons de sols bruts avant les tests d'adsorption permet d'occulter l'hypothèse de co-adsorption.

L'adsorption du glyphosate suit la loi de Freundlich, avec des coefficients Kf faibles indiquant sa plus grande affinité pour la phase liquide. A ce titre le glyphosate peut constituer une forte potentialité de pollution des eaux. Cependant, dans les sols son adsorption est plus favorable sur Dian et Moursi que sur Danga, due en partie au taux d'argile, aux matières organiques et à leurs surfaces spécifiques.

Mots clés: Mali, adsorption, sols argileux, glyphosate.

I. INTRODUCTION

L'agriculture occupe une place importante dans l'économie du Mali. Elle représente en moyenne 42% du produit intérieur brut (PIB). Mais les cultures sont souvent confrontées à des invasions acridiennes et d'autres nuisibles non moins importants. Pour le traitement des cultures, les quantités de pesticides utilisées au Mali sont estimées à environ 5400 tonnes, soit une valeur marchande estimée à 17 milliards de Fcfa. La part de l'agriculture s'élève à 90% de l'ensemble des pesticides utilisés au Mali.

De nombreuses études sont actuellement menées sur le devenir de ces pesticides dans les sols et le traitement de la pollution induite (Gastaldi D., 1998, Zheng S.-Q, 1996).

La pollution du Bafing (affluent du Niger) attestée par la présence des résidus de pesticides dans l'eau des zones de production de coton, a été signalée depuis 1994 par Coulibaly et Derlon.

Une étude récente menée par Berthé (2007), notait aussi la présence de résidus de pesticides dans les sols et eaux de quatre zones de culture de coton au Mali.

Sur un rapport présenté par ODI SAHEL (ONG au Mali) sur le périmètre irrigué villageois (PIV), il a été montré que les riziculteurs comptaient désormais plus sur les herbicides que sur les labours pour le suivi des champs. Dans cette zone, la confiance est plutôt au Round up (environ 90% des agriculteurs de la zone) pour lutter contre les mauvaises herbes (<http://www.thenrgroup.net>).

Les pesticides ont certes contribué à augmenter les rendements des cultures en luttant notamment contre les ravageurs. Toutefois leur impact environnemental reste un problème majeur. Pour parer à cela, de nombreuses techniques d'élimination des pesticides des sols sont utilisées comme : - l'oxydation chimique par l'ozone, le peroxyde et le permanganate, - la phytoremediation; - la Bioaugmentation in situ; le lavage des sols ex-situ;

la désorption technique à haute température; la Bioréaction; l'incinération (Omar Ben, 2010)

Toutes ces techniques d'élimination sont très coûteuses et constituent donc un problème majeur pour nos pays.

Mieux, quelque soit le type de sol, les quantités de pesticide restent les mêmes, générant de ce fait bien souvent de grands excès de produits dangereux pour les sols et les eaux de surface et souterraines. C'est pourquoi, nous pensons qu'il vaut mieux prévenir en évitant d'envoyer un excès de pesticide dans l'environnement par une meilleure connaissance des sols et leurs interactions avec les pesticides à appliquer.

Notre démarche consistera donc à faire une analyse des sols de la zone, à étudier au laboratoire l'adsorption des pesticides sur les différents sols de la zone afin d'ajuster les quantités de pesticide à utiliser par rapport à son adsorption par le sol.

II. MATERIEL ET METHODE



Figure 1 : Carte du Mali et localisation de l'Office du Niger (source : Bélières et al., 2007)

L'Office du Niger au Mali est une zone irriguée située en rive gauche du fleuve Niger, dans le delta intérieur, à environ 30 km en aval de Ségou et à 250 km en aval de Bamako (cf. carte en Figure 1).

Les périmètres irrigués représentent aujourd'hui environ 100 000 ha. Les productions principales sont le riz, le maraîchage, le sucre et les produits d'élevage.

Les types de sols utilisés sont Dian, Danga et Moursi.

Les échantillons ont été prélevés à une profondeur de 20cm

Les méthodes utilisées pour la caractérisation des sols argileux sont les suivants:

- La spectrométrie d'émission Plasma ICP-AES pour la détermination de la composition chimique des échantillons.

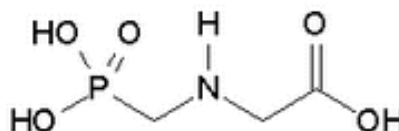
- La diffraction des rayons X, à l'aide d'un diffractomètre RX BRÜKER (modèle D5000), en mode $\theta / 2 \theta$ (Balayage angulaire de 3 à 65°, pas par pas de 0,02° d'une durée de 2s, anticathode Cu, 40 kV – 30 mA).

- L'Infrarouge à Transformée de Fourier (IRTF) à l'aide d'un spectromètre "Perkin-Elmer Fourier Transform 1720-x", sur une gamme de 400 à 4000 cm^{-1} avec une résolution de 2 cm^{-1}

Les échantillons ont été conditionnés sous forme de dispersion dans une pastille de KBr (1/200 en poids).

- La méthode BET (Brunauer, Emmett et Teller) pour l'estimation de la surface spécifique des argiles. la méthode d'échanges avec l'ion cobaltihexammine pour la détermination de la CEC (voir norme NFX31-130 pour la description complète de la méthode).

Le pesticide étudié est le glyphosate, l'herbicide le plus utilisé dans le monde. (Amand et Jacobsen, 2001 ; Mallat et Barcelo, 1998) Il est de la famille des organo-phosphates. La molécule du glyphosate est une chaîne non plane en zigzag (Knuuttila et Knuuttila, 1985), qui possède un groupement amine, un groupement acide phosphonique et un groupement acide carboxylique. Sa formule développée est



La procédure d'adsorption consiste à disperser une masse de 15 mg d'argile dans 50mL d'une solution de pesticide de concentration variable C_i (0, 10, 20, 30, 40, 50 mg/L) par agitation mécanique à 28°C à raison de 150 tr/min pendant 24 heures.

Après centrifugation, le surnageant est analysé par HPLC. Les dosages sont réalisés avec une chaîne chromatographique constituée d'une pompe Hitachi 655A-12, d'un passeur automatique Gilson 234 auto injecteur muni d'une boucle d'injection de 20 μL , d'une colonne RP18 (25 cm, à billes sphériques de diamètre 5 μm en silice greffée octadécyle), d'un intégrateur Hitachi D-2000 et d'un détecteur UV Hitachi L-4000 (calé sur le maximum d'absorption UV du composé utilisé).

La phase éluante- acétonitrile/eau (80/20 en volume) est préalablement filtrée et dégazée avant l'utilisation. Le débit de la pompe est fixé à 0,5 ml.mn^{-1} .

La quantité de produit adsorbée exprimée en μmoles , μg ou mg de soluté par gramme de solide adsorbant est donnée par la relation suivante:

$$Q = \frac{(C_0 - C_e) * V}{m}$$

III. RESULTATS ET DISCUSSION

Des études de sorption ont été réalisées sur la fraction fine de trois types de sols : Danga, Dian et Moursi. Ces sols ont été préalablement caractérisés au moyen de nombreuses techniques physico-chimiques et spectroscopiques afin d'obtenir des informations concernant leur composition, leur morphologie et leur structure.

Tableau1 : Caractéristiques des sols du Mali – Quantification des argiles

Sols	DANGA	DIAN	MOURSI
Argile (%)	5,11	6,82	25,50
Limon (%)	20,89	13,38	48,20
Sable (%)	74,00	79,80	26,30
pH	8,00	6,54	7,50
S.s (m2/g)	61,48	98,78	97,15
M.O	1,90	3,81	6 ,03
Classification	Limon sableux	Sable limoneux	Limon
Phases à 7Å	83	69,4	43,3
Phases à 10Å	1,3	0	0
Phases à 15Å	15,7	30,6	56,7
C.E.C(g/100g)	19,6	27,20	36,6

Les différentes techniques ont notamment permis de mettre en évidence leurs principaux constituants.

Ainsi, la caractérisation des sols argileux a montré trois types de sols : limoneux pour Moursi, limon - sableux pour Danga et sableux- limoneux pour Dian.

Les trois types de sol contiennent du quartz, du feldspath et des minéraux argileux qui sont la kaolinite, la montmorillonite et l'illite selon la DRX. Les estimations semi-quantitatives par DRX montrent de plus que la fraction fine de Moursi contient 43,3% de kaolinite et 56,7% de smectite;

Celle de Dian 69,4% de Kaolinite et 30,6% de smectite; celle de Danga contient 83% de kaolinite;15,7% de smectite et 1,3% d'illite.

L'analyse chimique montrent que les minéraux argileux sont majoritairement de la kaolinite ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{à } 1,18$), de la smectite et de l'illite.

Les surfaces spécifiques de l'échantillon de sol ont été mesurées par la méthode B.E.T à l'azote à 77 K. Elles sont de 61,5 m^2 pour Danga, 98,8 pour Dian et 97,2 pour Moursi.

Ces valeurs sont relativement importantes comparées à celles obtenues pour des complexes argilo-humiques de type kaolinite/acides humiques ($13\text{m}^2.\text{g}^{-1}$), pour de la silice ($6\text{m}^2.\text{g}^{-1}$) ou pour d'autres échantillons de sol ($20,8\text{m}^2.\text{g}^{-1}$), mais très faible comparée à celles d'une argile seule (10 à 30 $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$ pour la kaolinite et la chlorite, 100 à 175 pour l'illite et 700 à 800 pour la montmorillonite). Le taux de matière organique des échantillons de Moursi est plus élevé par rapport aux autres. Il en est de même pour les pourcentages en argile. Ce qui explique les valeurs des surfaces spécifiques relativement élevées de ce même échantillon par rapport aux autres.

Le modèle utilisé pour la modélisation est le modèle de Freundlich

Il s'agit d'une équation qui est souvent employée dans la représentation pratique de l'équilibre d'adsorption entre le soluté et la surface de l'argile. Elle se présente sous la forme

$$Q = K_F \cdot C_e^{1/n}$$

La linéarisation par changement d'échelle de la relation de Freundlich conduit à l'équation suivante : $\ln Q = \ln K_F + 1/n \ln C_e$

Il s'agit de l'équation d'une droite de pente $1/n$ et d'ordonnée à l'origine $\log K_F$

Tableau 2: Résultats de la linéarisation obtenus à l'aide de l'équation de Freundlich pour l'adsorption du glyphosate sur les trois types de sols argileux

	FREUNDLICH		
	KF ($L.g^{-1}$)	1/n	R ²
Glypho Danga	0,01	0,94	0,92
Glypho Dian	4,33	2,74	0,89
Glypho Moursi	0,20	0,20	0,95

Ainsi, pour le glyphosate, les valeurs de k_f de l'isotherme d'adsorption selon le modèle de Freundlich vont de 0,01 à 4,33 et le gradient de sorption du sol observé suit l'ordre : Dian > Moursi > Danga;

La plus grande valeur de k_f du glyphosate pour les trois sols argileux est observée avec le sol Dian qui a une grande surface spécifique.

La faible adsorption du glyphosate avec une solubilité de 10,5g/L pourrait s'expliquer par plus d'affinité pour la phase liquide.

Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence différentes capacités de rétention des sols argileux. Il ressort que les sols argileux Moursi et Dian présentent une forte et rapide adsorption pour ce pesticide. Cela n'est pas le cas pour Danga.

IV. CONCLUSION

La caractérisation des sols argileux a montré trois types de sols : limoneux pour Moursi, limon - sableux pour Danga et sableux-limoneux pour Dian.

Ces trois types de sol contiennent du quartz, du feldspath et des minéraux argileux qui sont la kaolinite, la montmorillonite et l'illite.

Les surfaces spécifiques sont respectivement de 61,48m²/g pour Danga; 98,78 m²/g pour Dian et 97,15m²/g pour Moursi et des CEC allant de 1,67 pour Moursi, 1,86 pour Danga et 2,95 pour Dian.

Les expériences d'adsorption montrent que le glyphosate est mieux adsorbé sur les sols étudiés du fait d'une part de leurs différences de solubilités, d'autre part de leurs structures respectives. Lors du contact avec le sol et les minéraux argileux, le glyphosate est immobilisé en raison de la formation de complexes de surface avec des ions métalliques, principalement Fe³⁺, Al³⁺ et Ca²⁺ (Franz et al, 1997)

A priori, les différences en termes de solubilité du glyphosate sont assez importantes pour induire des différences au niveau des quantités adsorbées.

REFERENCES

- [1] Bélières, J. F., Barret, L., Sama, Z. C., Kuper, M. (2007). Organisation et rôle de la profession agricole dans le développement des systèmes irrigués - quelques enseignements tirés du cas de l'Office du Niger au Mali
- [2] Berthé, S.D, 2007. Pesticide Residus in soil and water from four cotton growing areas of Mali, West Africa. Agriculture, Food and Envir Sciences, vol 1. p 1934- 1935.
- [3] C. A. Edwards, Soils Fertilizers 27, 451, 1964.
- [4] Coulibaly, A., Derlon, JP (1994).
- [5] Gastaldi D., Ostacoli G., Torazzo A., Zelano V., (1998), Annali di chimica, 88, 657-665.
- [6] (http://www.thenrgroup.net/theme/PAN-ecotox/pdf/annex_7_mali_mini-project_report.pdf)
- [7] <http://www.dynavive.eu/DocusPDF/EliminationPesticides.pdf> etc.
- [8] Maovala et al. <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=170205>),
- [9] Laabs et al., 2000 <http://www.dynavive.eu/DocusPDF/EliminationPesticides.pdf>)
- [10] Omar Ben Khatab N'diaye (2010). Technologie de décontamination des sols contaminés par des pesticides au MALI. P22-P35
- [11] W. Y. Shiu and D. Mackay (1986) J. Phys. Chem. Ref. Data 15, 911
- [12] Franz, J.E., Mao, M.K., Sikorski, J.A. (1997). Glyphosate — A Unique Global Herbicide ACS Monograph 189.

Caractérisation moléculaire des cristaux protéiques des souches de *Bacillus Thuringiensis* (BT) isolées des sols du Mali

Rokiatou FANÉ^{1*}, Diakaridia TRAORÉ¹, Adounigna KASSOGUÉ¹, Oumar OUATTARA¹, Amadou Hamadoun DICKO¹, Mamadou W BAGAYOKO¹, Fassé SAMAKÉ¹, Amadou Hamadoun BABANA¹ et Fernando H. VALICENTE²

¹Laboratoire de Recherche en Microbiologie et Biotechnologie Microbienne, Faculté des Sciences et Techniques, Bamako

²Embrapa Milho e Sorgo, Brésil

*Contact email address: rfane@laborem-biotech.com

RESUME: La présente investigation porte sur la caractérisation moléculaire des cristaux protéiques des souches de *Bacillus thuringiensis* (Bt) par la technique de SDS-PAGE en vue de formuler de biopesticides contre les insectes ravageurs des cultures (*Orseolia oryzivora* et *Helicoverpa armigera*) et améliorer la production du riz et du maïs chez les producteurs à faible revenu. Les dégâts causés par ces ravageurs peuvent atteindre 60% de perte des récoltes avec comme conséquence la diminution du rendement. Ces céréales sont essentielles dans les stratégies de réduction de la pauvreté et de la sécurité alimentaire.

Les gènes nécessaires pour contrôler ces insectes nuisibles *cry1* et *cry2* ont été analysés par la technique de PCR en utilisant les amorces spécifiques.

Au total 66 souches de *Bacillus thuringiensis* isolées des sols du Mali préalablement identifiées par la PCR ont été analysées. Ces souches ont été cultivées sur le milieu Luria Bertani puis inoculée dans le Nutrient broth. Les cristaux ont été purifiés et analysés par le SDS-PAGE.

Parmi les souches de Bt traitées, 52 ont montrés des fragments variant entre 10 et 140 kDa. Les protéines codées par ces gènes dans les cristaux parasporaux purifiés ont été détectés par le SDS-PAGE 12%.

Cette étude constitue la première caractérisation des cristaux protéiques des souches locales de *Bacillus thuringiensis* du Mali. Les souches confirmées au laboratoire pourront être utilisées pour des applications et formulations futures de biopesticides contre les ravageurs des cultures.

Mots clés : Riz, maïs, *Bacillus thuringiensis*, cristaux protéiques, biopesticides, SDS-PAGE.

I. INTRODUCTION

L'introduction et la prolifération subséquente des insecticides chimiques de synthèse ont joué un rôle déterminant dans l'accroissement de la productivité agricole, la protection des cultures des forêts et la lutte contre les insectes vecteurs de maladies humaines (Joung et Côté, 2000). Au Mali, les dégâts causés par les ravageurs peuvent atteindre 60% de perte des récoltes avec comme conséquence la diminution du rendement (Hamadoun et al., 1996). L'utilisation des insecticides chimiques ont favorisé l'émergence de biotypes résistants qui ne sont plus contrôlée par les principaux groupes d'insecticides chimiques (Pooja et al., 2013). Cela a conduit à mettre davantage l'accent sur les stratégies de lutte contre les insectes ravageurs pour assurer la durabilité de l'environnement (Ozturk et al., 2009). Une approche alternative qui a attiré l'attention est le développement de toxines de *Bacillus thuringiensis* (Bt) comme insecticides (Pooja et al., 2013). Le *Bacillus thuringiensis* apparait comme une alternative prometteuse à la lutte chimique. C'est une bactérie ubiquitaire à Gram positif, sporogènes qui forme des cristaux protéiques ou protoxines lors de la

phase stationnaire de son cycle de croissance (Schnepf et al., 1998). Elle possède une activité toxique contre les larves insectes (Nazarian et al., 2009; López-Pazos et al., 2013). Les cristaux de Bt contiennent une ou plusieurs protéines cristallines (codées par les gènes *cry* ou *cyt*) qui ont montré une toxicité spécifique contre plusieurs ordres d'insectes (Vidyarthi et al., 2002; Yamamoto et Dean 2000). La plupart des souches de *Bacillus thuringiensis* sont capables de produire plus d'un type de cristal. Les cristaux peuvent être formés par différentes protéines Cry et / ou Cyt, comme par exemple chez *Bacillus thuringiensis subsp. Israël*, qui dispose de 5 gènes codant pour des protéines Cry et un autre gène codant pour une cytolysine, tous situés sur le même plasmide 72MDa (Gonzalez et Carlton, 1984; Lereclus et al., 1989). Les toxines Bt sont spécifiques à un nombre limité d'espèces d'insectes sans aucune toxicité contre les humains ou d'autres organismes (Bravo et al., 2011). Certaines d'entre elles sont toxiques pour un grand nombre d'espèces d'insectes de l'ordre des lépidoptères, diptères et coléoptères, en plus de quelques Homoptères (MacIntosh et al., 1990, Bravo et al., 2007; Porcar et al., 2009; Palma et al., 2014), et

Nématodes (Wei *et al.*, 2003). La PCR est un outil rapide pour la caractérisation préliminaire de Bt. La fiabilité de la prédiction de l'activité insecticide sur la base des résultats de la PCR est dépendante de l'expression des gènes. Les gènes qui manquent de promoteurs ou des gènes fonctionnels qui sont faiblement exprimés produiront une prédiction erronée. Une caractérisation complète des souches de Bt peut donc être atteinte par d'autres moyens. La détermination de la composition des cristaux parasporaux, à l'aide du sodium dodécyl sulfate par électrophorèse sur gel de polyacrylamide (SDS-PAGE) et les essais biologiques sont des compléments essentiels à l'identification des gènes (Porcar et Juarez-Perez, 2003).

Au cours de ces 3 dernières années, il y a eu un intense intérêt pour la collecte et l'analyse des souches locales de Bt provenant de divers échantillons environnementaux du Mali. Cependant, le Mali est une région de l'Afrique moins explorée dans la recherche des isolats de Bt. La technique de PCR a été utilisée pour identifier les souches de *B. thuringiensis* locales du Mali possédant les gènes *cryI* (C, B et F) et *cry2*. La caractérisation des protéines utilisant d'autres méthodes est nécessaire pour l'identification de ces souches locales.

La présente investigation a porté sur la détermination de la composition en cristaux parasporaux par la technique de SDS-PAGE.

II. MATERIEL ET METHODES

1. Matériel biologique

Au total 66 souches de *Bacillus thuringiensis* isolées des sols de différentes localités du Mali (Samanko, CAA, Icrisat, Cinzana, Diré et Niono Dily, Daoudabougou et Bozola, Badalabougou, Senou et Missabougou) ont été utilisées pour la SDS-PAGE.

2. Méthodes

2.1. Purification des protéines

2.1.1. Croissance en milieu solide

Les souches de Bt ont été cultivées sur (Luria Bertani) enrichi de sels selon la méthode décrite par Valicente *et al.* (2010), pendant 24 heures à 30°C.

2.1.2. Croissance des en milieu liquide

A partir de la culture de 24 heures, les souches ont été cultivées dans 50 ml bouillon nutritif et incubées à 30 ° C pendant 72 h sous agitation continue à 200 rpm (Ammounh *et al.*, 2011).

2.1.3. Extraction des protéines cristallines

Les protéines ont été extraites en utilisant le protocole modifié d'Ammounh *et al.* (2011). Pour ce faire, la suspension obtenue a été incubée dans la glace pendant 20mn puis centrifugée à 2000 g pendant 5 mn à l'aide d'une centrifugeuse (Sigma 2-6 E). 2ml du culot ont été prélevés et incubé dans la glace pendant 15 mn puis centrifugés à l'aide d'une centrifugeuse (eppendorf 5424) à 14500 rpm pendant 10mn. Le culot obtenu, a été resuspendu dans 1ml de NaCl glacé 0,5 M puis centrifugé à 14500 rpm pendant 5 mn. Le culot a été resuspendu dans 1ml de

solution (1% SDS et 0,01% beta-mercaptoéthanol), ce mélange a été bouilli à 95 °C pendant 10mn et centrifugé à 14500 rpm pendant 10mn. Le surnageant a été prélevé et analysé en utilisant 12% SDS-PAGE comme décrit par Laemmli (1970). L'électrophorèse a été effectuée à l'aide un système (OmniPAGE 'WAVE' Electrophoresis Systems) à 90volts et 45mA pendant 16 heures. Le gel a été coloré à l'aide de 0,1% de bleu de coomassie R250. Les masses des protéines ont été déterminées par comparaison avec un marker de poids moléculaire (Broad Range Protein Molecular Weight Markers).

III. RESULTATS

Les souches locales de Bt ont été caractérisées par SDS-PAGE. Les résultats obtenus indiquent que les souches synthétisés 2 types de protéines avec des poids moléculaires d'environ 130 et 70 kDa (fig. 1). Les profils protéiques des gènes *cryI* B, *cryI* C, *cryI* F et *cry2* observés sur le gel polyacrylamide (SDS-PAGE) de 12% ont montré des bandes de poids moléculaire comprises entre 10 et 140 kDa. Certaines souches de Bt ont montré des bandes environ 130 et 70 kDa qui étaient les tailles attendues recherchées des protéines, au cours de la présente étude. Parmi les souches de Bt analysées, 11 souches soit 21% possédaient ces tailles recherchées. Ces résultats montrent que les gènes *cry1* et *cry2* ont été exprimées dans ces souches analysées. En plus de ces deux poids majeurs de protéines, d'autres masses moléculaires ont été observées à des proportions différentes (tableau 1). Ces fragments protéiques indiquent la présence d'autres types de gène *cry* dans les souches locales de Bt.

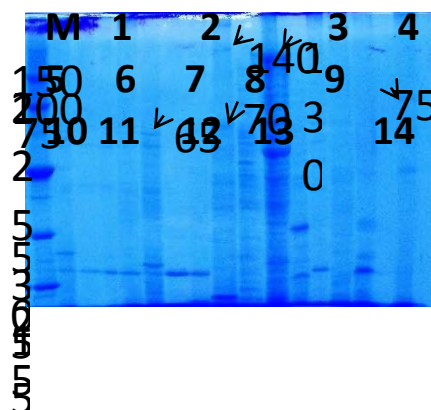


Figure1: SDS-PAGE du mixte spore-cristaux des souches de *Bacillus thuringiensis*. M : marker de poids moléculaire en kDa (Broad Range Protein Molecular Weight Marker). Colonne 1 à 14 souches de Bt (D5, D8, D1G, B1G, B5, C4, 14'', 14'N, 17, Di2, DL1, DL2, DL4 et DL5).

Table 1. Masse moléculaire, nombre et fréquence des bandes

Masse moléculaire (kDa)	Nombre de bandes	Fréquence des bandes
140	3	(6%)
125	5	(10%)
130-70	11	(21%)
100-110	5	(10%)
80-90	4	(8%)
66-68	5	(10%)
60-65	13	(25%)
50-55	14	(27%)
40	6	(10%)
20-25	5	(10%)
10-17	4	(8%)

IV. DISCUSSIONS

L'analyse des souches locales de *Bacillus thuringiensis* par le SDS-PAGE a permis l'observation de leur composition protéique avec un nombre fragment variant entre 1 à 5 bandes relatif aux profils de différents gènes obtenus dans les échantillons. (Pinheiro, 2013) a montré que la plupart des souches de *B. thuringiensis* sont capables de produire plus d'un type de cristal. Selon (Gonzalez et Carlton, 1984; Lereclus *et al.*, 1989) les cristaux peuvent être formés par différentes protéines *Cry* et / ou *Cyt*, comme cela se produit par exemple chez *B. thuringiensis subsp. Israël*, qui possède 5 gènes codant pour des protéines *Cry* et un autre gène codant pour une cytolysine, tous situés sur le même plasmide 72MDa. Les extraits analysés par le SDS-PAGE étaient composés de spores et de cristaux. La masse moléculaire des protéines obtenues était comprise entre 10 et 140 KDa. Les tailles recherchées des protéines étaient 130 KDa pour le gène *Cry1* et 70 KDa pour le gène *Cry2*. Ces deux poids moléculaires ont été retrouvés environ au niveau de 21% des souches analysées par SDS-PAGE. Parmi ces souches portant ces deux tailles, certaines n'ont présenté qu'un seul fragment, certaines en association avec d'autres fragments protéiques. Ces résultats peuvent être comparés avec ceux obtenus par Ammounh *et al.*, (2011) qui ont obtenu des tailles environ 130 et 65 kDa dans les souches locales de *Bacillus thuringiensis* de Syrie. Ces mêmes auteurs ont soutenu l'idée d'expression des gènes *cry1* et *cry2* dans tous leurs isolats. De même (dos Santos *et al.* (2009) ont découvert la présence de deux principaux polypeptides d'environ 130 et 65 kDa des protéines obtenus des mélanges spores-cristaux par SDS-PAGE. (Bravo *et al.*, 1998; Crickmore *et al.*, 1998) indiquent que les protéines connues les plus toxiques sur les lépidoptères sont codées par les gènes *cry1*, *cry2*, et *cry9*. En dehors ces deux tailles, 130 et 70 kDa, d'autres masses moléculaires de protéines ont été observées au sein de plusieurs souches locales maliennes qui indiqueraient la présence d'autres gènes *cry*. (Gao *et al.* 2008) ont observé des cristaux parasporaux dans 342 isolats composés de plus d'une

protéine ayant une masse moléculaire comprise entre 28-150 kDa, et le plus souvent de 65-140 kDa et sept isolats ont produit une seule protéine cristalline de 50 kDa. (dos Santos *et al.* (2009) ont découvert la présence de deux principaux polypeptides d'environ 130 kDa et 65 des protéines obtenus des mélanges spores-cristaux par SDS-PAGE. Ces masses moléculaires typiques des protéines cristallines de classes *Cry1* et *Cry2* sont actives contre lépidoptères (dos Santos *et al.*, 2009; Schnepf *et al.*, 1998). Parmi les souches locales de Bt du Mali, certaines n'ont pas pu être amplifiées par la PCR. En fonction de leur profil protéique sur le gel polyacrylamide, ces souches ont été considérées comme des Bt. Ce résultat est similaire au résultat obtenu par Mendow *et al.* (2012) qui ont montré que parmi les 28 isolats de Bt certains n'amplifient l'une quelconque des oligonucléotides testés, ils ont néanmoins été classés comme Bt sur la base de leurs profils de protéines et la production du cristal. De même ils supposent que ces souches sont susceptibles d'être des sources de nouvelles protéines *Cry*. Les profils protéiques de deux isolats Bt117-4 et Bt3146-4 analysés par le SDS-PAGE ont montré que les échantillons solubilisés sont composés de fragments de protéines différentes qui peut être en rapport avec les différents profils génétiques obtenus à partir de ces deux échantillons analysés (Fiuza *et al.*, 2012). Les résultats obtenus par ces derniers sont différents de ceux obtenus par la présente investigation, car ils ont montré que les protéines *Cry9* ont environ 130 kDa et les protéines *Cry2* sont connues pour avoir un poids moléculaire inférieur à 90 kDa.

V. CONCLUSION

Les souches locales de *Bacillus thuringiensis* analysées par SDS-PAGE au cours de la présente investigation, expriment simultanément les protéines codées par les gènes *cry1* et *cry2* de masse moléculaire environ 130 et 70 kDa. Ces deux protéines sont efficaces contre *Helicoverpa armigera*. Elles contiennent également d'autres protéines codant pour d'autres gènes *cry*.

ACKNOWLEDGMENT

Nous remercions le Département de Biologie, de la Faculté des Sciences et Techniques et le Rectorat de l'Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako pour leur soutien administratif m'autorisant à effectuer la formation. Les bailleurs de fonds à travers MarketPlace au Brésil et le Centre National de Recherche Agricole pour leurs soutiens financiers.

REFERENCES

- [1] Ammounh. H, Harba. M, Idris. E, Makee. H, "Isolation and characterization of native *Bacillus thuringiensis* isolates from Syrian soil and testing of their insecticidal activities against

- some insect pests". *Turk J Agric For*, 2011, (35) 421-431.
- [2] Bravo, A., Sarabia, S., Lopez, L., Ontivieros, H., Abarca, C., Ortiz, A., Lina, L., Villalobos, F.J., Peña, G., Nuñez-Valdez, M.-E., Soberón, M., Quintero, R. "Characterization of cry genes in a Mexican *Bacillus thuringiensis* strain collection". *Applied and Environmental Microbiology*, 1998, 64, 4965–4972.
- [3] Bravo, A., Gill, S. S., Soberon, M., "Mode of action of *Bacillus thuringiensis* Cry and Cyt toxins and their potential for insect control". *Toxicon.*, 2007, 49:4, 423-435.
- [4] Bravo, A., Likitvivatanavong, S., Gill, S. S., Soberon, M., 2011. *Bacillus thuringiensis*: A story of a successful bioinsecticide. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*. 41:7, 423-431.
- [5] Crickmore, N., Zeigler, DR., Feitelson, J., Schnepf, E., Van Rie, J., Lereclus, D., Baum, J. and Dean, DH., (1998). Revision of the literature for the *Bacillus thuringiensis* pesticide crystal proteins. *Microbiology Molecular and Biology Review*, vol. 62, p. 807-813. PMID:9729610. PMCID:98935.
- [6] Joung, K-B., Côté, J-C. (2000) : Une analyse des incidences environnementales de l'insecticide microbien *Bacillus thuringiensis*. Bulletin technique no. 29, 17p.
- [7] Gonzalez, J. M.; Carlton, B. C. "A large transmissible plasmid is required for crystal toxin production in *Bacillus thuringiensis* variety *israelensis*". *Plasmid*, New York, v. 11, n. 1, p. 28-38, 1984.
- [8] Laemmli, U. K.: "Cleavage of structural proteins during assembly of head of bacteriophage-T4". *Nature*, 1970, v. 227, n. 5259, p. 680-685.
- [9] Mendoza G, Portillo A, Arias F, Ribas R.M, Jorge Olmos J, " New combinations of cry genes from *Bacillus thuringiensis* strains isolated from northwestern Mexico, *International Microbiology*, 2012, 15:209-216.
- [10] Nazarian, A., Jahangiri, R., Jozani, GS., Seifinejad, A., Soheilvand, S., Bagheri, O., Keshavarzi, M. and Alamiasad, K, "Coleopteran-specific and putative novel cry genes in Iranian native *Bacillus thuringiensis* collection". *Journal of Invertebrate Pathology*, 2009. vol. 102, p. 101-109. PMID: 19631215. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jip.2009.07.009>
- [11] Palma, L., Muñoz, D., Berry, C., Murillo, J., Ruiz de Escudero, I., Caballero, P, "Molecular and Insecticidal Characterization of a Novel Cry-Related Protein from *Bacillus Thuringiensis* Toxic against *Myzus persicae*". *Toxins*, 2014, 6: 3144–3156.
- [12] Pardo-López, L., Soberón, M., & Bravo, A. (2013). *Bacillus thuringiensis* insecticidal three-domain Cry toxins: mode of action, insect resistance and consequences for crop protection. *FEMS Microbiology Reviews*, 37(1), 3-22. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1574-6976.2012.00341.x>
- [13] Pinheiro H.D. (2013) : Interação de proteínas Cry1A com as vesículas da borda escovada da membrana apical (BBMVs) do intestino médio de *Spodoptera frugiperda* e *Diatraea saccharalis* e avaliação do tempo de cultivo sobre a produção de β -exotoxina em isolados de *Bacillus thuringiensis*. 127p
- [14] Vidyarthi, A.S., Tyagi, R.D., Valero, J.R., Surampalli, R.Y., 2002. Studies on the production of B. Thuringiensis based biopesticides using wastewater sludge as a raw material. *Water Research* 36, 4850–4860.
- [15] Lereclus, D. et al. "Transformation and expression of a cloned δ -endotoxin gene in *Bacillus thuringiensis*". *FEMS Microbiol Lett*, v. 60, p. 211-218, 1989.
- [16] Valicente F.H., Edgard A.T.P., Maria J.V.V., Newton P.C., Andréia A.C., Cláudia T.G., Ubiraci G.L., "Molecular characterization and distribution of *Bacillus thuringiensis cryI* genes from Brazilian strains effective against the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*". *Biological Control*, 2010, 53:360–366.

Identification de bactéries durant de la fermentation des graines de baobab (*Adansonia digitata* L.) décortiquées pour la production du soumbala au Mali

DICKO Maïmouna SY^{4*}, Lene JESPERSEN¹, CISSE Oumou TRAORE², Line THORSEN¹, Diakaridia TRAORE³, Bamory DIARRA⁴

¹ Université LIFE de Copenhague, Danemark

² Centre National de la Recherche Agricole (CNRA)

³ Faculté des Sciences et Techniques de l'USTTB de Bamako

⁴ Laboratoire de Nutrition animale, Sotuba

*Adresse de correspondance : mai_sy2003@yahoo.fr

RESUME : La fermentation spontanée de certaines graines d'arbre de la savane est communément appelée soumbala. Le soumbala est un condiment traditionnel africain riche en protéines qui est fabriqué à partir des graines. Les graines sont fermentées d'une manière spontanée par des microorganismes. Mais l'utilisation de ce condiment est limitée à cause de son odeur fort, de sa propreté douteuse tout en donnant un bon goût particulier aux plats. En effet, la fabrication du soumbala s'effectue de manière traditionnelle et dans des conditions d'hygiène malsaines. Une autre contrainte pour la consommation du soumbala est le manque d'informations sur sa valeur nutritive. L'objectif de ce travail est de produire le soumbala avec des graines de baobab décortiquées (amandes), identifier les microorganismes présents lors de la fermentation pour améliorer la qualité nutritionnelle du condiment soumbala avec des techniques de fermentation (fermentation contrôlée) des amandes de baobab en utilisant des starters de cultures des bactéries satisfaisants pour la fermentation. Les résultats ont montré grâce à des analyses microbiologiques, que les microorganismes qui assurent une fermentation satisfaisante sont essentiellement des bactéries du genre *Bacillus*. Les résultats ont également montré la présence d'autres microorganismes indésirables qui sont responsables de l'altération du condiment.

Mots clés: *Adansonia digitata* L., bactéries, fermentation, microorganismes, soumbala.

I. INTRODUCTION

Le produit de la fermentation spontanée de certaines graines d'arbre de la savane est communément appelé soumbala. Pour fabriquer le soumbala, on peut utiliser différentes matières premières: les graines les plus utilisées en Afrique de l'ouest sont les graines de *Parkia biglobosa*, les graines de baobab, le soja.

La fermentation ou dégradation spontanée, incomplète des aliments est due à l'action des moisissures, des levures et des bactéries. Elle est obtenue grâce aux enzymes produites par ces microorganismes, ou à d'autres métabolites microbiens. La fermentation peut être un procédé de conservation, qui améliore la valeur nutritive des aliments en les rendant plus digestes.

En situation d'anaérobiose les bactéries adaptent un nouveau système d'oxydoréduction qui est la fermentation. Elles peuvent comme les levures, transformer les sucres en éthanol et lactate et produire du glycérol grâce à une fermentation glycéro-pyruvique. Le soumbala qui ressemble beaucoup au datou par son mode de préparation, d'utilisation et par son odeur désagréable est l'un des

nombreux condiments obtenus par fermentation sous l'action des microorganismes.

Dans le cadre de cette étude la matière première utilisée pour la fabrication du soumbala est les graines décortiquées (amandes) de baobab *Adansonia digitata* appelée zira en bambara

Le baobab africain est la plus connue des huit espèces de baobab. C'est un arbre africain à caudex du genre *Adansonia* et des familles Bombacées, selon la classification classique, ou des Malvacées, selon la classification phylogénétique.

Cet arbre imposant se distingue des autres espèces d'*Adansonia* endémiques à Madagascar et à l'Australie par son tronc très massif (10 m de diamètre), ses fleurs à port pendulaire et sa cime arrondie. Il produit des baies sèches de (150 à 300) g, à épicarpe très lignifié, le plus souvent ovoïdes et dénommées pain de singe. Les nombreuses graines sont noyées dans une pulpe blanchâtre et farineuse.

II. MATERIEL ET METHODES

2. 1. Matériel biologique de l'étude

Echantillonnage :

La collecte et le stockage des échantillons : Des échantillons ont été prélevés au niveau du village, de

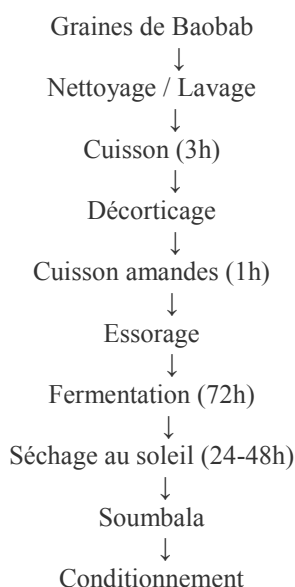
3 producteurs de différents sites : Sanankoroba, Niamana, Tabakoro.

Pour chaque prélèvement, les échantillons en double, ont été pris et mis dans des bocaux. L'isolement des micro-organismes pour l'identification a été effectuée en une seule et unique occasion d'un échantillon / étape. Tout le matériel utilisé lors de l'échantillonnage ont été stérilisée (121 ° C pendant 15-20min) ou décontaminés à l'aide d'alcool à 70%, suivi par flambage. En plus de l'échantillonnage lors de la fermentation, les matières premières ont également été échantillonnées. Les matières

premières comprennent les graines avant et après décorticage, juste avant la mise en fermentation.

Au cours des étapes de fermentation, l'échantillonnage a été effectué à différents moments : 0 h, 12h, 24h, 48h, 72h point de dernière fermentation, et le produit final: soumbala (après 24 h sec soleil). Les échantillons ont été conservés dans une glacière avec de la glace, pour être amenés au laboratoire où ils ont été transférés dans le réfrigérateur à 2°C (entre 0 et 4°C) pour les analyses. La température et le pH ont été mesurés au cours de la fermentation.

Schéma périphérie de la transformation traditionnelle des graines de baobab en soumbala



Méthodologie 1 :

Les analyses biochimiques et microbiologiques ont été effectuées sur les graines de baobab crues non fermentées, sur les graines de baobab décortiquées en cours de fermentation pour la production du soumbala.

Méthodes d'analyses biochimiques :

1. Mesure du pH pendant la fermentation : Le pH a été mesuré sur les échantillons prélevés à différentes étapes de la fermentation (0h, 12h, 24h, 48h, 72h,) et sur les produits finis (soumbala séchés) à l'aide d'un pH mètre préalablement calibré avec des solutions tampons pH = 4 et pH = 7. La mesure a été faite à partir de 10g d'échantillon et de 20 ml d'eau distillée préalablement homogénéisé au stomacher (Nout et al., 1989).

2. Mesure de la température pendant la fermentation : L'évolution de la température du produit a été suivie en mesurant la température du produit durant la fermentation à l'aide d'un thermopHmètre.

Méthodes d'analyses microbiologiques :

1. Dénombrement des microorganismes: Préparation de la suspension mère, des dilutions décimales et ensemencement. La préparation des échantillons, de

la suspension mère et des dilutions décimales a été effectuée selon la norme internationale ISO. Les échantillons ont été analysés immédiatement 10g d'échantillon sont pesés dans un sachet stomacher stérile dans lequel on ajoute 90ml d'eau peptonée stérile. L'ensemble est passé au stomacher pendant 2 minutes. A partir de cette suspension mère une série de dilutions décimales est réalisée : 1ml de solution est prélevé à l'aide de cette dernière solution et introduit dans le tube suivant contenant la même quantité d'eau peptonée. La dilution est ainsi faite jusqu'à la plus forte dilution désirée. La méthode de l'inoculation dans la masse a été utilisée pour l'ensemencement. Pour ce faire, 1ml de chaque dilution est introduite dans une boîte de Pétri stérile dans la quelle on ajoute le milieu de culture en surfusin à une température comprise entre 44 et 47°C. Ensuite on mélange le contenu de la boîte. Les boîtes sont laissées à solidifier sur une surface fraîche à la température ambiante avant d'être incubées à l'étuve. Toute la manipulation a été effectuée autour d'une flamme et sur un paillasson préalablement bien nettoyé à l'alcool 65% afin d'éviter toute contamination.

2. Préparation des milieux de culture : La purification des microorganismes est indispensable à leur l'identification. C'est pourquoi plusieurs milieux de culture ont été réalisés pour isoler et purifier les microorganismes de nos échantillons de graines de baobab et de soumbala à toutes les étapes de préparation. Des milieux de culture solides et des milieux de culture liquides ont été utilisés. Les milieux de culture liquides ou bouillons de culture ont permis une croissance abondante des microorganismes et se sont révélés convenables pour les pré-cultures.

3. Dénombrement des bactéries aérobies mésophiles : La numération de la flore aérobie mésophile a été effectuée selon la norme internationale. Les boîtes de pétri contenant la gélose de nutriments agar ont été ensemencées avec le volume d'1ml de dilution approprié, après solidification elles ont été incubées dans l'étuve à 30°C pendant 72h. Après la période d'incubation, les colonies ont été comptées. Les boîtes contenant entre 15 et 300 colonies ont été retenues pour le comptage des colonies.

4. Dénombrement des entérobactéries : Les entérobactéries ont été dénombrées selon la norme internationale. Les boîtes de pétri contenant la gélose Violet Red Bile Glucose (VRBG) ont été ensemencées avec le volume d'1ml de dilution approprié, après solidification les boîtes ont été incubées dans l'étuve à 37°C pendant 24h. Les boîtes contenant de 15 à 150 colonies ont été retenues pour le comptage des colonies.

5. Dénombrement des levures et moisissures : Les levures et moisissures ont été dénombrées selon la norme internationale. Les boîtes de pétri contenant la gélose de Malt Agar (MA) ont été ensemencées avec le volume d'1ml de dilution approprié, après solidification les boîtes ont été incubées dans l'étuve à 25°C pendant 5 jours. Les boîtes contenant de 15 à 150 colonies ont été retenues pour le comptage des colonies.

6. Dénombrement des bactéries acides lactiques : Les bactéries acides lactiques ont été dénombrées selon la norme internationale. Les boîtes de pétri contenant la gélose de Man, Rogosa and Sharpe (MRS) ont été ensemencées avec le volume d'1ml de dilution approprié, après solidification les boîtes ont été incubées dans des conditions anaérobiques à 30°C pendant 72h. Les boîtes contenant de 15 à 300 colonies ont été retenues pour le comptage des colonies.

Méthodes des observations macroscopiques et microscopiques des cultures microbiennes

a. Observations macroscopiques : L'objectif de l'observation macroscopique était de décrire les aspects morphologiques des colonies. Elle a été faite soit à l'aide d'une loupe type Lumany model N. 07512, soit à l'œil nu. Elle a permis d'observer : l'aspect, la consistance des cultures, la forme, la couleur, l'apparence macroscopique des cultures

pures des colonies, et la taille des colonies, mesurée à l'aide d'une règle graduée. Le repiquage des différentes colonies observées a été fait ultérieurement pour disposer de cultures pures.

b. Observations microscopiques : Des observations microscopiques à l'état frais ont été réalisées. Des lames de verre ordinaire (76 x 26 x 1,2 mm) lavées proprement, dégraissées dans un mélange d'alcool éthylique à 90° dilué au 9/10 et d'acide chlorhydrique dilué au 1/10 et bien nettoyées ont été utilisées pour cela. Une goutte d'eau distillée a été déposée sur la lame et une petite quantité de germes a été prélevée à l'aide d'une anse stérile. Ensuite, les germes ont été dispersés dans la goutte de façon homogène à l'aide de l'anse. Une lamelle (22 x 22 mm) a été appliquée sur la préparation tout en évitant la formation de bulles d'air et un débordement de la préparation entre lame et lamelle. Les bords ont été ensuite luttés avec de la paraffine pour éviter de confondre la mobilité des microorganismes et le mouvement de convection susceptible d'entraîner les germes. Une goutte d'huile d'immersion a été déposée sur la lamelle. La préparation a été ensuite examinée au microscope à l'objectif x 10 puis à l'objectif x 40.

Toutes ces opérations ont été effectuées sous une hotte à flux laminaire et au voisinage d'une flamme de Bec Bunsen pour éviter toute contamination. Lorsque la préparation à l'état frais a paru homogène, il a été procédé à l'isolement et à la purification des bactéries.

c. Coloration des bactéries au Gram : La coloration Gram a permis de mettre en évidence les propriétés de la paroi bactérienne, et d'utiliser ces propriétés pour les distinguer et les classer. Son avantage est de donner une information rapide sur les bactéries présentes dans un produit ou un milieu.

d. Isolement et purification des bactéries : Il s'agissait de repiquer les différentes bactéries observées dans les boîtes de milieu universel, pour obtenir une culture pure de chaque bactérie. Pour cela les milieux PCA, milieu gélose au sang, et le milieu TSA ont été préparés. Le repiquage a été fait successivement sur milieu PCA, milieu gélose, la boîte a été réchauffée et séchée à l'étuve à 37°C pendant 30 minutes.

Méthodologie 2 :

Après les purifications préliminaires et la caractérisation des isolats, ces isolats ont été transportés à l'université LIFE de Copenhague au Danemark pour y effectuer les tests génotypiques.

L'identification moléculaire :

- L'extraction de l'ADN à partir des bactéries : Une colonie bactérienne a été choisie et isolée puis mise en suspension dans un tube microfuge contenant un 1ml de l'eau stérilisée, centrifugé pendant une minute à 10 000 à 12 000 rpm. Le supernatant a été retiré et mis dans un autre tube microfuge, puis

nous avons ajouté 100 µl de matrice d'InstaGene au culot et incubé à 56° C pendant 15-30 minutes, vortex à grande vitesse pendant 10 secondes. Les tubes ont été placés dans un bloc C de chaleur à 100° C pendant 8 minutes et vortex à grande vitesse pendant 10 secondes, ensuite spin à 10.000-12.000 tours par minute pendant 2-3 minutes. Les tubes ont été centrifugés pendant 1 minute de 10.000 à 12.000 tours par minute pendant 2-3 minutes ;

- Rep-PCR en utilisant le réactif GTG5 ;
- Le typage par la méthode de rep - PCR (Nielsen et al., 2007) ;
- Les isolats ont été identifiés par les méthodes de 16S rRNA gène de séquençage, GYR A, GYR B gène de séquençage et les bases de données EZTAXON ont été utilisées pour l'identification.

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3. 1. Résultats :

Étude des colonies microbiennes sur le milieu de culture NA:

L'ensemencement des échantillons prélevés sur les sites de Niamana, Sanankoroba, Niamakoro sur milieu de culture Nutrient Agar a donné un grand nombre de colonies bactériennes d'aspect différent, mais le plus souvent blanches. Cet aspect a été considéré d'ores et déjà comme une orientation sur le genre *Bacillus*. En effet, les bacillus font partie de la flore banale et contaminent de nombreux produits alimentaires (Pierre Galzy et Joseph Guiraud., 1980). Ils sont très répandus dans la nature en particulier dans le sol et sont souvent protéolytiques. Or les graines d'*Adansonia* utilisées par les productrices de soubala contiennent beaucoup d'impuretés (poussières, insectes ...) qui peuvent renfermer toute la flore du sol. D'ailleurs il a été constaté que pour préparer le soubala, les femmes ont commencé d'abord par nettoyer proprement les graines. Pour cela, elles ont tamisé, époussetées, et lavées plusieurs fois les graines avant de les cuire et les fermenter (voir tableau 1).

Tableau 1. Observations macroscopiques et microscopiques, gram et catalase tests des mesophiles bacillus aérobiques.

Sporulation	Gram test	Catalase test	Morphologie cellulaire (microscopique observation)	Morphologies des colonies	Nombre d'isolats
+	+	+	Mobiles, en bâtonnets, seules, en paires, en chainnes	Colonies convexes, Roudes, régulières, beiges	168
+	+	+	Mobiles, en bâtonnets, seules, en paires	Colonies convexes, régulières, blanchâtres	34
-	-	+	Mobiles, en bâtonnets, seules, en paires	Colonies convexes régulières beiges	35
-	-	+	Mobiles, en bâtonnets, presque rondes, coccoïdes	Colonies convexes, ± régulières, beiges	12

Tableau 2. Observations macroscopiques et microscopiques, gram et catalase tests des bactéries acides lactiques.

Sporulation	Gram test	Catalase test	Morphologie cellulaire (microscopique observation)	Morphologies des colonies	Nombre d'isolats
-	+	-	Non-mobile, coccus, seule, en pair, en chainettes	Colonies convexes, Rondes, régulières, blanchâtres	30
-	+	-	Non-mobiles, bâtonnet, seule, en paires, en chaines	Colonies convexes, rondes ± régulières, blanchâtres	10

Tableau 3. Observations macroscopiques et microscopiques, gram et catalase tests des entérobactéries.

Sporulation	Gram test	Catalase test	Morphologie cellulaire (microscopique observation)	Morphologie des colonies	Nombre d'isolates
-	-	+	Non-mobiles, en bâtonnets, seule, en paires, en chaînes	Colonies convexes, Rondes, régulières, beiges	41
-	-	+	Mobiles, en bâtonnets, seule, en paires,	Colonies convexes, ± régulières beiges	12

Résumé des phénotypiques caractérisations et des tests génotypiques:

Identification des bactéries aérobiques mésophiliques basée sur les tests phénotypiques préliminaires.

- Identification des bactéries aérobiques mésophiliques**

- 90% ont été présupposés identifiés *Bacillus* spp, spore forme;

- 10% ont été présupposés comme des non-spore-formes BAM.

Les présupposés *Bacillus* spp. ont été génotypiquement regroupés en 2 groupes:

Groupe 1: *B. Amilyquefacien* groupe (*B. subtilis*) la flore dominante,

Groupe 2: *B. Cereus* group (*B. cereus*).

Les isolates des non-spore-forming BAM ont été génotypiquement regroupés en 2 groupes:

Groupe 1: *Pseudomonas beteli* la flore dominante,
Groupe 2: *Acenitobacter baumani*

- Identification des bactéries acides lactiques**

Les isolates ont été génotypiquement regroupés en 2 groupes

Group 1: *Pediococcus pentocaceus* species la flora dominante

Group 2: *Weissella paramesenteroïdes*

- Identification des Entérobactéries :**

Les isolates ont été génotypiquement regroupés en 2 groupes:

Group 1: *Klebsiella pneumonia* la flore dominante.
Group 2: *Enterobacter cancerogenus*.

Tentative d'identification des microorganismes durant la fermentation du village de Tabakoro

Production site de Tabakoro

Designations	Matière première graine	Graines décortiquées (amande)	0 h	12h	24h	48h	72h	Produit final soubala
Température °C	25	25	38.2	26.8	27	28	28	25.3
pH	6.1	6.54	6.39	6.29	5.79	6.98	6.60	7.15
AMB.log(CFU/g) % of AMB population	2±0.2	2±0.6	2.2±0.7	2.5±0.7	1.1±08	2.4±09	2.4±08	1.7±07
<i>Bacillus amylo liquefaciens</i>	—	80	70	85	91	89	85	80
<i>Bacillus cereus</i>	—	—	—	15	—	—	6	4
<i>Pseudomonas beteli</i>	81	—	12	—	9	2	9	10
<i>Acenitobacter baumani</i>	19	—	8	—	—	9	—	6

LAB. Log (CFU/g) % of LAB population	0	0	0	5±0.2	5±05	6.8±0.6	3.8±0.6	1.9±06
<i>Pediococcus pentosaceus</i>	–	–	–	100	100	92	88	96
<i>Weissella paramensateroides</i>	–	–	–	–	–	8	12	4
EB.log (CFU/g) %of EB population	0	0	0	3±0.3	3±0.3	8.7±07	1.5±07	1.1±0.6
<i>Klebsiella pneumonia</i>	–	–	–	100	100	96	91	87
<i>Enterobacter cancerogenus</i>	–	–	–	–	–	4	9	13

Tentative identification des microorganismes durant la fermentation du village de Sanankoroba

Production site de Sanakoroba

Désignations	Matière première graine	Graines décortiquées (amande)	0 h	12h	24h	48h	72h	Produit Final soubala
Température °c	25	25	38.8	27	26.8	27.8	28	25
pH	6.2	6.53	6.38	6.30	5.77	6.72	6.75	7.71
AMB.log(CFU/g) %of AMB population	2±0.2	3.1±0.6	4.2±0 .6	1.2±0 .7	3.1±0 .8	2.5±0.9	4.1±0.9	2.1±0.9
<i>Bacillus amylo Liquefaciens</i>	–	91	100	78	89	90	93	87
<i>Bacillus cereus</i>			–	2	11	–	3	7
<i>Pseudomonas Beteli</i>	78	9	–	20	–	–	4	4
<i>Acenitobacter Aumani</i>	12		–	–	–	10	–	2
LAB.log (CFU/g) % of LAB population	0	0	0	1.5±0 .5	7.8±0 .4	3.7±0.6	5.1±0.6	2±0.6
<i>Pediococcus Pentosaceus</i>	–	–	–	100	100	94	96	93
<i>Weissella paramensateroides</i>	–	–	–	–	–	6	4	7
EB. log (CFU/g) % of EB population	0	0	0	3.2±0 .4	7.2±0 .6	1.2±0.7	3±0.6	3.4±0.7
<i>Klebsiella Pneumonia</i>	–	–	–	100	99	88	93	91
<i>Enterobacter cancerogenus</i>	–	–	–	–	1	12	7	9

Tentative d'identification des microorganismes durant la fermentation du village de Niamana

Production site de Niamana

Designations	Matière première graine	Graines décortiquées (amande)	0 h	12h	24h	48h	72h	Produit Final Soumbala
Température °C	25	25	38.5	27	26.9	27.6	28.3	25.6
pH	6.03	6.51	6.36	6.38	5.75	6.68	6.77	7.30
AMB.log(CFU/g) %of AMB population	1±0.2	3±0.6	4±0.6	1.4±0.7	3.1±0.8	2.7±0.9	3.9±0.9	3.7±0.9
<i>Bacillus amylo Liquefaciens</i>	–	98	85	88	83	90	91	83
<i>Bacillus cereus</i>		–	–	4	–	2	–	5
<i>Pseudomonas Beteli</i>	100	2	7	3	6	3	9	3
<i>Acenitobacter Baumanii</i>	–	–	8	5	11	5	–	1
LAB.log (CFU/g) % of LAB population	0	0	0	1.3±0.4	8±0.4	3.9±0.6	5.2±0.6	5.1±0.6
<i>Pediococcus Pentosaceus</i>	–	–	–	100	100	94	97	89
<i>Weissella paramensateroides</i>	–	–	–	–	–	6	3	11
EB.log (CFU/g) %of EB population	0	0	0	3±0.4	7±0.6	1.4±0.7	3.3±0.6	3.3±0.6
<i>Klebsiella Pneumonia</i>	–	–	–	100	98	90	88	81
<i>Enterobacter Cancerogenus</i>	–	–	–	–	2	10	12	19

IV. DISCUSSION

La présente étude est principalement basée sur l'identification des isolates de micro-organismes observés durant la fermentation de l'espèce au niveau du groupe. Les principales espèces identifiées ont été le *B. amyloliquefaciens* et le *B. cereus*.

On note la présence des bacilles amilyquefaciens du début à la fin de la fermentation et cela dans les isolats de tous les 3 sites de production. Elle représente 90% des bacillus aërobiques mésophiles. Dans tous les sites de production, les *Bacillus cereus* sont surtout présents à la fin de la fermentation et dans le produit fini (soumbala séché au soleil).

La présente étude a montré l'évolution des AMB non spore formes des isolées durant la fermentation. Des non spores formes des espèces des aërobies Mésophiles Bactéries comme les *speudomonas*, les *Acénitobacter baumanii* ont été aussi isolées sur les graines de baobab (matière première).

Il est connu que les staphylococci et les autres non - spores formes des espèces AMB trouvées, sont commun composantes de la flore microbienne de la peau de l'humain et de l'animal et sont aussi trouvées dans l'air (Bouvet and Grimont, 1986 ; Vandamme et al., 2001 ; Vaz-Moreira et al., 2008 ; Wesley et al.,

1998 ; Wesley et al., 1976 ; William et al., 1953). En occurrence, ces microorganismes isolés dans le soumbala séché prouve une ré-contamination et les entérobactéries, en l'occurrence ces microorganismes isolées dans le soumbala. Séché prêt à être consommé, prouve une ré contamination la germination après l'étape de la cuisson y compris durant la production sous les conditions hygiéniques inefficace ainsi que le long temps de séchage ouvert à l'air libre et au soleil.

Les espèces de bactéries lactiques à être isolées pendant la fermentation ont été le *Pediococcus pentocaeus* 94% ainsi le *Weissella parammesenteroïdes*. Dans le cadre des études précédentes, beaucoup d'espèces de bactéries lactiques ont été identifiés dans des aliments alcalins fermentés de l'uru, dawadawa, en incluant *E facium*, *Lactobacillus spp.*, *L plantarium*, *Leuconostoc mesenteroïdes*, *Pediococcus spp.* And *Ln dextranicus* (Antai and Ibrahim, 1986 ; Obeta, 1983 ; Uaboi-Egbenni et al., 2009). Pas d'isolats référant au *E facium*, *Lactobacillus spp.*, *L plantarium*, Selon Desmazeaud, 1996, l'amélioration de la qualité organoleptique des produits artisanaux ou traditionnels implique une maîtrise de la

fermentation lactique, car les bactéries lactiques jouent un rôle primordial dans l'apparition des arômes, ou de précurseurs d'arômes ainsi que dans la texture finale des produits. En fait la dégradation du lactose, de l'acide lactique, des matières protéiques et lipidiques est à l'origine de ces composés aromatique. Par exemple, pour les fromages à pâte molle et à croûte fleurie, la grande diversité des composés issus des réactions biochimiques permet notamment d'identifier et de quantifier les molécules responsables du goût, et de l'odeur du fromage (Molimard et Spinnler, 1996, Kubickova et Grsch, 1998). Les arômes secondaires sont issus des transformations moléculaires, liées à l'activité des microorganismes pendant les fermentations alcooliques ou malolactiques (Hubert 2003).

Dans cette étude, nous avons identifié des bactéries lactiques ensemble avec les espèces de *Bacillus* durant la fermentation. La coexistence des bactéries lactiques et des espèces de *Bacillus* en incluant les *B. cereus* durant la fermentation a été reportée pour les céréales et incluant *poto-poto* (maize sourdough) Abiouel et al., 2006), le maïs fermenté fortifié avec cowpea (Sami et al., 2002) la fun (manioc fermenté) (Padonou et al.) et Gergoush (Sherfi and Hamad, 2001).

Différents profils des aérobies mésophiles bactéries, des bactéries lactiques et entérobactéries espèces ont été retrouvées dans le soubala séché prêt pour être employé en accord avec les différents sites. La principale entérobactérie à être isolée le *Klebsiella pneumonia*, l'*Enterobacter cancerogenus*. Ces résultats amènent à la conclusion que les espèces de *Bacillus Amyliquefaciens*, *pediococcus* identifiés sont responsables de la fermentation

V. CONCLUSION

L'amélioration des conditions de préparation du soubala doit contribuer à écarter les microorganismes indésirables de la fermentation pour obtenir un produit de qualité. Selon Labbé, 2005 la maîtrise de la fermentation consiste à

favoriser la flore utile au détriment de la flore indésirable. Cette étude faite, va permettre non seulement de mettre au point une technique de fermentation contrôlée de soubala de graine de baobab décortiqué, mais aussi de réaliser des starters avec ces différentes espèces de *Bacillus* afin de fermenter les graines de baobab décortiquées et d'obtenir un soubala de qualité.

REFERENCES

- [1] Antai, S.P., Ibrahim, M.H., 1986. Microorganisms associated with African Locust Bean *Parkia filicoidea* Welw, fermentation for dawadawa Production. *Journal of Applied Microbiology* 61, 145–148.
- [2] Labbe, M., 2005. Les aliments végétaux fermentés et lacto-fermenté. *Bioinfo*.
- [3] Hubert, A., 2003. Des aliments fermentés en Asie du sud-est. In *slow* n°9, pp 52-57.
- [4] Desmazeaud, M., 1996. Les bactéries lactiques dans l'alimentation humaine : utilisation et innocuité. *Cahier d'agriculture*, pp. 331 - 343.
- [5] Molimard, P., et Spinnler, H., 1996. Review: Compounds involved in the flavour oil.
- [6] Nkafamiya I.I., Osemeahon
- [7] S.A., Dahiru D., Umaru H.A.V., 2007. Studies on the chemical composition and physico-chemical properties of the seeds of baobab
- [8] (*Adansonia digitata*). *African Journal of Biotechnology* Vol. 6(6), pp.756-759.
- [9] Chadare F. J, Hounhouigan J. D., Linnemann A. R., Nout M. J. R. and Boekel M. A. J. S., 2008. Indigenous Knowledge and Processing of *Adansonia digitata* L. *Food Products in Benin, Ecology of Food and Nutrition*, 47:4, 338-362.

Stopper le "dépérissement" des mangues pour une meilleure valorisation de la mangue: Cas de l'utilisation des noyaux de *Mangifera Indica* pour l'extraction du beurre

COULIBALY Mouctar*, SIGUIPIY Ambadjo,
Laboratoire de Biotechnologie végétale et de culture in-vitro
Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA), Katibougou

* Corresponding author: mocaly2000@yahoo.fr / hamirouban@gmail.com

RESUME : Au Mali, la production de mangue atteint 200 000 tonnes¹. Seulement une infime partie de cette production est utilisée par la population. Le reste est perdu en raison de la périssabilité des mangues. Les sous-produits et les déchets de mangue représentent près de 60% de la masse brute totale. Ces sous-produits, les peaux et les noyaux pourrissent généralement sur les sites de séchage, ce qui prédispose les produits séchés à une éventuelle contamination microbienne (Zongo, 2000).

Il a été rapporté que depuis une dizaine d'années, on assiste² aussi à la mort de nombreux manguiers au Mali, principalement dans la zone de Katibougou-Koulikoro. La présence d'un parasite avait tout d'abord été envisagée, mais il semble bien que ce "dépérissement" soit dû essentiellement à un abaissement de la nappe phréatique dû à une sécheresse prolongée. On peut retarder le dépérissement en recépant les pieds légèrement, mais seule l'irrigation, quand elle est possible et peut stopper la mort des arbres.

L'utilisation des noyaux de *Mangifera indica* pour l'extraction du beurre est une opportunité économique de création de nouvelles sources potentielles de développement durable de la chaîne de valeur mangue.

Cette étude a été conduite pour la mise au point de procédés de transformation/ valorisation de la mangue pour réaliser des plus-values au profit des producteurs dans les zones rurales au Mali.

Les noyaux de trois variétés de mangues ont été collectés pour l'extraction du beurre: la première, l'"amélie" à gros fruit et petit noyau. La seconde, l'"indienne", ou "mango vert"; et l'"indochinoise" avec relativement un petit fruit et un gros noyau. Les amandes des noyaux de mangues des variétés ont été extraites, puis séchées, broyées et pesées avant l'extraction du beurre. L'extraction a été faite avec l'hexane par l'utilisation de l'évaporateur, "Rotavapor de Type Büchi R-200" au laboratoire, alors que le séchage, la torréfaction, le broyage, la cuisson et le barattage de la pâte d'amande a permis l'extraction du beurre dans les conditions locales traditionnelles.

Chaque échantillon a été caractérisé suivant l'amande extraite du noyau, le rendement de celle-ci en beurre, et la teneur en humidité avant l'extraction. Les acides gras ont été analysés par chromatographie en phase gazeuse.

Le rendement en amande des variétés "indochinoise" et "indienne" sont les plus élevés, respectivement de 40 et 38% du poids du noyau. Le rendement en matière grasse des variétés suivant l'extraction à l'hexane s'est trouvé relativement plus élevé, 9,2% chez la variété "Indienne"- "nukru", que les autres, 4,6% pour l'"indochinoise"- "nujanni" et 3,02% pour la variété "Amélie" - "gereffe". Les teneurs en humidité des variétés avant l'extraction étaient respectivement de 31, 15 et 50% pour l'"Indienne", l'"indochinoise" et l'"Amélie".

Mots clés : *Mangifera indica*, "dépérissement", noyau, beurre, extraction

I. INTRODUCTION

Au Mali, la production de mangue atteint 200 000 tonnes³. Seulement une infime partie de cette production est utilisée par la population.

La mangue est une denrée très périssable produite sur une période courte de 5 à 6 mois de l'année. Elle exige l'application immédiate d'une technologie appropriée *post- récolte*, afin de garantir la qualité du produit fini au consommateur (Traoré et al., 1991). Si la technique de séchage semble plus adaptée au

contexte socio-économique national et beaucoup plus maîtrisée par certains acteurs du domaine, il demeure cependant, le problème de la gestion des déchets sur les sites de séchage. En effet, les déchets et sous-produits de la mangue représentent près de 60% de la masse brute totale. Ils sont pour la plupart des mangues meurtries ou jugées trop mûres, les peaux et les noyaux de mangues. Ils pourrissent sur les sites de séchage ; ce qui prédispose les produits séchés à une éventuelle contamination microbienne

¹ [http://www.unctad.info/en/Infocomm/Site \(Tools/Notices/Copyright-notice//](http://www.unctad.info/en/Infocomm/Site (Tools/Notices/Copyright-notice//)

² Fruits, Jul-aug. 1974, vol. 29, n°7-8, p. 613-617

³ [http://www.unctad.info/en/Infocomm/Site \(Tools/Notices/Copyright-notice//](http://www.unctad.info/en/Infocomm/Site (Tools/Notices/Copyright-notice//)

(Zongo, 2000). Il est donc nécessaire d'œuvrer à la diversification des technologies de transformation / conservation des mangues et à la gestion des déchets et sous-produits de transformation tels que les peaux, les noyaux et les amandes. L'adaptation de ces techniques en milieu rural devrait permettre de mieux rentabiliser la production de ces fruits.

La gestion et la valorisation des déchets sur les sites de conservation/transformation de mangues est une question autant importante qu'elle permette non seulement d'éliminer les déchets, mais surtout de les utiliser pour créer des activités génératrices de revenus.

II. MATERIELS ET METHODES

2.1. MATERIELS

2.1.1. MATERIEL VEGETAL

Les noyaux de trois variétés de mangue, objet de cette étude ont été collectés sur le site de l'IPR/IFRA de Katibougou. Il s'agit des **variétés indienne** ou « **nukru** », **indochinoise** ou « **nujanni** », et **Amélie** ou « **greffée** ».

2.1.2. AUTRES MATERIELS

Les matériels utilisés sont le dispositif de d'une part, l'évaporateur "Rotavapor type Bucchi " et des ses accessoires constitués de fioles, bouteilles et autres verreries pour l'extraction au laboratoire; et d'autre part de marmite ou une casserole pour la torréfaction (grillage) et le chauffage de la mousse pour l'obtention de l'huile, d'un mortier et son pilon pour la mouture après torréfaction, d'une meule pour la 2ème mouture, et d'une calebasse ou une écuelle pour le barattage, pour l'extraction traditionnelle, d'autre part.

Tous ces matériels sont lavés et asséchés avant leur utilisation

2.2. METHODE

L'approche méthodologique a comporté deux étapes: La première, faite de travaux préliminaires a commencé par 1) la collecte ou ramassage des noyaux pendant la période des mangues, à partir de mars, surtout pour les variétés rustiques (indochinoise, indienne). Cette période et le lieu de ramassage sont déterminants pour la qualité des noyaux et du beurre. Puis, par 2) le dépulpage pour débarrasser les mangues de leur pulpe et peaux pour obtenir les noyaux. cette opération peut être faite manuellement ou par suite de consommation par l'homme, les animaux ou les oiseaux. Ensuite l'activité 3) a porté sur le premier triage pour extirper du lot les noyaux atteints ou mal formés; 4) le séchage des noyaux au soleil pendant environ 48 heures, suivi 5) du deuxième triage est réalisé pour éliminer les noyaux vides et mal formés. En 6) l'extraction des amandes des noyaux séchés se fit avec délicatesse pour éviter toute perte. 7) les amandes obtenues sont lavées, pesées, et mises au

séchoir pendant au moins 4 jours.

Dans la seconde étape, nous avons procédé d'abord à l'extraction par l'hexane du beurre à partir des amandes séchées, au laboratoire. Elle a été suivie d'une phase de séparation de l'huile du solvant dans le dispositif de le *Rotavapor de type bucchi* d'extraction. Cette technique a été ensuite couplée de la technique artisanale/traditionnelle d'extraction comportant une série de phases sur la torréfaction (le grillage), les moutures au pilon et à la meule, le barattage, le chauffage de la mousse, et la décantation. Elles ont été réalisées grâce à la collaboration et la disponibilité de la transformatrice pilote dans la production du beurre de karité, la vieille Iyé Diarra du village in situ de *Diakitébougou*.

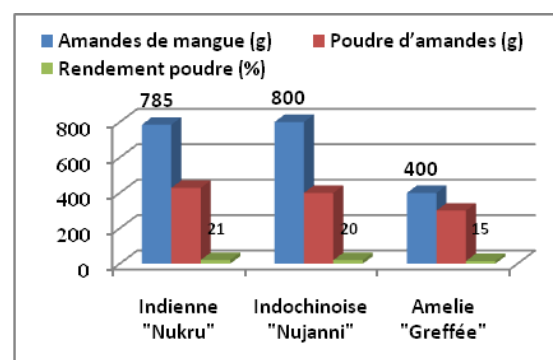
Nous avons ensuite effectué un test de chromatographie en phase gazeuse par FAME - "Fatty Acid Méthyl Esterase" (Méthyl Esterase d'Acide gras) sur les échantillons de beurre des trois (3) variétés de mangue.

III. RESULTATS

3.1. Quantité d'amandes obtenus à partir des noyaux:

Il ressort des données du graphe 1, que pour une même quantité de noyaux des trois variétés, les variétés indienne et indochinoise enregistrent les meilleurs rendements d'amande et de poudre (21 et 20%). Pour la variété "amélie", la quantité d'amandes obtenue des noyaux est relativement faible, entraînant ainsi un rendement moyen de 15% de poudre par rapport aux noyaux.

Graphel 1 : *Quantité d'amande obtenu par variété pour l'extraction*



3.2. L'extraction de l'huile par la méthode au laboratoire

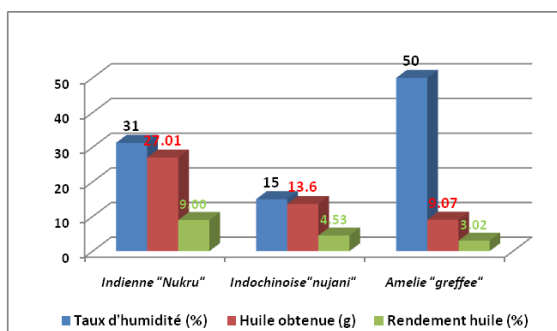
3.2.1. Taux d'humidité des amandes

A la fin du séchage, nous avons enregistré des valeurs de taux d'humidité comprises entre 15% pour l'indochinoise "nujanni" et 50% pour l'amélie "greffée". La valeur médiane revient à l'indienne "nukru" 31%.

3.2.2. Teneur en huile des amandes

Les résultats du graphe 2 montrent que les quantités obtenues d'huile après séparation du solvant sont 27.07g pour la "nukru", contre 13.6 g et 9.07g pour la "nujanni" et la "greffée". Ces résultats correspondent à une teneur de 4 à 9% d'huile obtenue par extraction passive à l'hexane. Ainsi, la variété indienne "nukru" a le rendement d'huile le plus élevé (9,01%), ensuite vient la variété indochinoise "nujanni" (4,5%), puis l'Amélie "greffée" (3%).

Graphe 2 : Quantités d'huile d'amandes obtenue par variété de mangue (méthode d'extraction à l'hexane)



3.3. Extraction de l'huile par la méthode traditionnelle

L'extraction du beurre par cette voie n'a pas abouti à des résultats satisfaisants. Dans un premier temps, la torréfaction seule de la poudre d'amandes sans cuisson préalable n'a donné aucun résultat significatif. Dans un second temps, nous avons procédé à la torréfaction non pas de la poudre mais des amandes après un léger concassage. Cela a donné le résultat de 3,5 g d'huile (données non citées) qui demeurent presque insignifiant par rapport à la quantité d'amande prise pour l'extraction. D'autre part le temps de barattage de la pâte obtenue a été très long pour atteindre ce résultat.

3.4. Chromatographie en phase gazeuse des échantillons de beurre

Les échantillons de beurre ont été conservés et soumis à un test de chromatographie en phase gazeuse par FAME ("Méthyl Estérase d'Acide Gras") pour identifier la nature des acides gras qu'ils contiennent. Les chromatogrammes résultant de ce test ont tous montré l'existence d'acide gras avec une abondance d'acide stéarique et palmitique, d'acide oléique, et des faibles quantités de l'acide gras indispensable (acide linoléique, w6) parmi 6 fraction d'acides gras présentes chez l'indienne - "nukru" et l'Amélie - "greffée"; et 10 fractions d'acides gras identifiés chez l'indochinoise - "nujanni" (voir tables de scan des chromatogrammes en annexes).

IV. DISCUSSION

La quantité des amandes obtenus après leur extraction des noyaux représente un indicateur technologique important pour l'obtention de l'huile d'amande. Dans les cas des différentes variétés, les noyaux n'ont pas les mêmes grosseurs et par conséquent les mêmes poids et donc les quantités de matières grasses obtenues sont toujours différentes. C'est le cas des trois variétés étudiées de mangue qui, offrant chacune une certaine spécificité variétale se caractérise par le volume du noyau et le poids de l'amande (graphe 1).

Le graphe 1 permet aussi de caractériser les trois variétés suivant les paramètres comme la teneur en eau, le taux d'humidité, et le rendement en huile. Pour parvenir à un meilleur taux d'extraction de l'huile, il faut procéder à un bon séchage des amandes après leur extraction des noyaux. Ce processus est souvent accompagné d'une cuisson des amandes. Cela contribue non seulement à faciliter le séchage, mais permet une meilleure concentration des matières grasses dans l'amande et par conséquent une meilleure extraction. Cela nécessite tout aussi que les facteurs d'extraction comme le bon triage des noyaux, notamment ceux ramassés sous l'arbre ou ceux provenant des fruits mûrs.

Dans notre cas, la collecte survenue tard n'a consisté qu'à un simple ramassage des noix. Cela a sûrement eu une influence sur la quantité et la qualité par échantillon d'huiles obtenues.

L'indienne "nukru" est une variété bien indiquée pour l'extraction de l'huile (graphe2). Le taux d'humidité élevé de l'amélie (50%) expliquerait en partie le faible rendement en huile de sa poudre d'amande (graphe 2).

Bien que pour les trois variétés le séchage ne soit pas déroulé dans les meilleures conditions possibles (étalement au soleil et dans le four solaire), nous avons pu enregistrer des teneurs en huile voisines de celles trouvées dans la bibliographie. Nous savons qu'en procédant à une diminution de l'activité de l'eau (aw), se traduisant par une diminution maximale de la teneur en eau des échantillons par séchage ou cuisson suivie de séchage, etc..., la qualité d'huile obtenue pourrait de ce fait, être améliorée.

Les données sur la teneur en huile des amandes de mangue sont souvent rares et contestées. Cela reflète l'importance d'étude du sujet au profit des procédés de transformation de la pulpe en général. Nous avons trouvé cependant conforme à nos résultats la teneur de 6 à 12% des amandes (www.fao.org/docrep/to115j/po/115jo.html)

En effet nos résultats montrent une teneur de 4 à 9% d'huile dans les conditions sus-citées (mauvaise collecte, mauvais séchage, etc...), suivant l'utilisation de l'hexane par extraction passive. Ainsi, la variété indienne "nukru" a le taux d'humidité le plus élevé (9,01%), ensuite vient la

variété indochinoise "*nujanni*" (4,5%), puis l'Amélie "*gréffée*" (3%). L'indienne "*nukru*" est donc une variété bien indiquée pour l'extraction de l'huile (graphe 2).

L'extraction par l'hexane au laboratoire nous a permis d'obtenir de l'huile brute qui a été séparée du solvant à l'aide du rotavapor type büchi R-200. Cette huile est en réalité du beurre car elle se solidifie à la température ambiante. C'est seulement dans le cas de la variété indochinoise que la solidification est un peu lente. Ce qui indique l'existence probable, en majorité d'acides gras saturés comme l'attestent les données bibliographiques (44 à 61%) contre (58 à 66%) pour le beurre de cacao et (8 à 10%) pour l'huile de tournesol qui a la plus faible teneur en acides gras saturés.

Les données montrent un diapason important de teneur en acides gras mono-insaturés et polyinsaturés (acides gras indispensables). En effet, les chromatogrammes résultant de la chromatographie en phase gazeuse "FAME" des échantillons montrent tous de la présence de 6-10 fractions renfermant l'acide oléique, linoléique, attestant ainsi de la valeur nutritionnelle des beurres extraits par variété. Les valeurs, selon certaines sources⁴, vont de 0,6 à 9,2% pour l'acide linoléique de 1,0 à 2,9% pour l'acide linoléique. Dans le cas du beurre de cacao, ces valeurs vont de 2,5 à 5,0 % et de 0,5 à 1,5%. C'est la preuve que le beurre de mangue peut être un meilleur substitut au beurre de cacao dans la fabrication du chocolat. En plus, le beurre de mangue renferme d'autres acides gras mono-insaturés que l'on ne trouve pas dans le beurre de cacao.

Ces résultats peuvent être améliorés surtout eu égard au fait que nous n'avons pas pu procéder à une cuisson préalable des amandes. Nous n'avons fait qu'une collecte ça et là de noyaux plus ou moins déjà secs. Il est nouvellement indiqué suivant la méthode d'extraction de l'huile des amandes (*Koné, M. T., 2000*) de procéder à une cuisson des noyaux aussitôt après leur extraction des fruits.

V. CONCLUSION

En somme, l'extraction du beurre des amandes de mangue est un moyen de valorisation potentielle de la mangue et de ses déchets en général. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire d'utiliser des graines séchées de haute qualité, prenant en compte la procédure de collecte, le type de noyaux et la maturité des fruits.

Notre but était d'établir la procédure de transformation pour l'extraction du beurre, à la fois dans les conditions du laboratoire et rurales / traditionnelles; afin de déterminer les valeurs nutritionnelles et commerciales des échantillons. Les données attestent qu'il est essentiel de collecter des noyaux à partir de fruits mûres et de haute qualité. Si

le beurre est obtenu à partir de fruits non murs, sa teneur en acides sera élevée et il sera uniquement bon pour les fabriques de savon.

L'activité de l'eau des amandes devrait être réduite à sa valeur minimale par la cuisson des amandes fraîches et par séchage. En raison de l'importance du beurre pour les zones rurales, la procédure de barattage doit être améliorée. A cet effet, la durée de ce processus peut être réduite en utilisant la cuisson et la torréfaction avant l'extraction. Le rendement en beurre des variétés indochinoise et indienne est meilleure à celui de l'amélie. La variété indienne peut être recommandée pour l'extraction du beurre, en particulier en utilisant la méthode traditionnelle locale. Le contenu biochimique de l'échantillon de beurre, bien que déterminé ici, peut être approfondi pour, non seulement établir la proportion des acides gras, saturés et insaturés, mais surtout ceux essentiels comme l'acide linoléique et linoléique chez les différentes variétés issues de l'expérience nationale de sélection et de bio-diversification sur les variétés de mangues au Mali.

Vu l'importance économique et nutritionnelle des variétés de beurre de mangue, il est tout aussi important de mieux explorer la durabilité des actions de valorisation dans la perspective d'une certaine maîtrise des aspects environnementaux à la lutte contre le dépérissement des manguiers dont les données méritent d'être plus explorées et actualisées, d'une part dans la zone de Koulikoro, et dans toutes les zones de manguiers, d'autre part.

La valorisation des déchets de mangues par la production d'huile à partir des amandes est une alternative et une initiative innovatrice qui doit permettre de déterminer les conditions d'obtention et d'un meilleur rendement de l'huile à l'extraction. Ce qui en définitive doit permettre de dégager les coûts de production de l'huile par quantité de matières premières. L'huile occupe une place de choix dans la vie socio-économique des populations en tant que source importante de nutriments (lipides, acides gras indispensables) et de revenus monétaires.

Pour notre part, il s'agissait d'extraire de l'huile pour valoriser les noyaux qui polluent l'environnement et de mettre au point un procédé applicable au double plan moderne et artisanal. Nous avons également envisagé la caractérisation de l'huile obtenue en vue de définir sa qualité tant au plan nutritionnel que technologique. Les analyses initiées et lancées dans ce sens méritent d'être approfondies dans nos futurs travaux.

REFERENCES

- [1] Etude du dépérissement du manguier du manguier au Mali (Zone de Katibougou) J.Y. REY, Fruits, jul.-aug. 1974, vol. 29, n°7-8, p. 613-617

⁴ Deddy et al., 1987

[2] <http://www.unctad.info/en/Infocomm/>

p . 613-617;

Site (Tools/Notices/Copyright-notice//

[4]. www.fao.org/docrep/to115j/po/115jo.html

[3] Fruits, Jul-aug. 1974, vol . 29, n°7-8,

Annexes Tables "FAME" de chromatographie en phase gazeuse des variétés

Caractéristiques des échantillons par variété de mangue

TiC.

M-1.D									
Nukru - Indian									
Peak#	Ret	Type	Width	Area	% Total	Start	End	MWT	Identification
1	18.006	rVB	0.66	2330307	3.81	17.892	18.552	270	hexadecanoic acid, methyl ester
	19.9				0.00			294	9,12-octadecadienoic acid, methyl ester
2	19.972	rBV	0.316	28585544	46.73	19.815	20.131	296	6-octadecenoic acid, methyl ester
3	20.225	rVB	0.718	28816372	47.10	20.131	20.848	298	octadecanoic acid, methyl ester
	21.9				0.00				
4	22.103	rVB	0.402	1010755	1.65	21.996	22.398	326	eicosanoic acid, methyl ester
5	23.813	rBV	0.258	201028	0.33	23.719	23.977	354	docosanoic acid, methyl ester
6	25.361	rBV	0.258	233659	0.38	25.24	25.496	382	tetracosanoic acid, methyl ester
					100.00				

TiC

M-1.D

Nujani - Indochinese

Peak #	Ret	Type	Width	Area	% Total	Start	End	MW	Identification
1	18.002	rVB	0.459	2201937	4.21	17.863	18.323	270	hexadecanoic acid, methyl ester C16:0
2	19.9				0.00			294	9,12-octadecadienoic acid, methyl ester C18:2
	19.973	rBV	0.344	26308048	50.24	19.787	20.131	296	6-octadecenoic acid, methyl ester C18:1
3	20.223	rVB	0.603	22874877	43.69	20.131	20.734	298	octadecanoic acid, methyl ester C18:0
4	21.886	rBV	0.344	150921	0.29	21.624	21.968		
5	22.098	rVB	0.316	674287	1.29	21.968	22.284	326	eicosanoic acid, methyl ester C20:0
	23.8	rBV			0.00			354	docosanoic acid, methyl ester C22:0
6	25.381	rBV	0.373	149850	0.29	25.183	25.556	382	tetracosanoic acid, methyl ester C24:0
7	25.958	rBV	0.315	188840		25.729	26.044		column bleed
8	26.812	rBV	0.402	343105		26.532	26.934		column bleed
9	27.682	rBV	0.402	283956		27.537	27.939		column bleed
10	28.669	rVB	0.258	170907		28.57	28.829		column bleed
					100.00				

TiC.

M-3.D

Grefte - Amélie

Peak#	Ret	Type	Width	Area	% Total	Start	End	MWT	Identification
1	18.012	rVB	0.919	2562447	3.81	17.895	18.813	270	hexadecanoic acid, methyl ester
	19.9				0.00			294	9,12-octadecadienoic acid, methyl ester
2	19.97	rBV	0.344		46.47	19.789	20.134	296	6-octadecenoic acid, methyl ester
3	20.224	rVB	0.632		46.20	20.134	20.765	298	octadecanoic acid, methyl ester
4	22.102	rVB	0.258	977899	1.76	22.028	22.287	326	eicosanoic acid, methyl ester
5	23.812	rVB	0.316	222769	0.40	23.693	24.009	354	docosanoic acid, methyl ester
6	25.356	rBV	0.344	303047	0.55	25.157	25.502	382	tetracosanoic acid, methyl ester
					100.00				

Les bases de données dans le développement du monde rural au Mali

Madian dit Tiéman DIARRA¹ et M. Djibril DIARRA^{2*}

¹ Institut d'Economie Rurale (IER), Bamako

² Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako, (USSGB), Institut Universitaire de Développement Territorial (IUDT), Bamako

*Adresse de correspondance : dl4djibril@gmail.com, mtdiarra@gmail.com

RESUME : Toutes les avancées technologiques d'autres domaines de l'activité humaine ont bénéficié à l'agriculture, engendrant ainsi son essor remarquable à couvrir les besoins nutritionnelles d'une population mondiale galopante. L'âge industriel a apporté la mécanisation et les engrais synthétiques à l'agriculture. Celui de la technologie lui a offert l'automatisation et le génie génétique. L'ère de l'information arrive avec tout le potentiel nécessaire pour intégrer les avancées technologiques et industrielles dans un système de production agricole durable [9].

Cet article explore brièvement la capacité de l'ordinateur et des technologies de l'information à booster la gestion de l'économie rurale. Il démontre la faisabilité d'une base de données pour aider le système de gestion de l'agriculture dans le but d'accroître sa productivité. Il est destiné à aider les chercheurs et les gestionnaires de la recherche à décider s'ils ont besoin de faire usage d'un logiciel de base de données pour gérer leurs données. Les bases de données demeurant l'outil essentiel pour la scientométrie - analyse quantitative de la production et des réseaux scientifiques – il est indéniable que sa mise en œuvre dans les activités de recherche contribue énormément à la réussite de celle-ci.

Mots clés : bases de données, développement rural, système d'aide à la décision, Initiative-Riz, système d'information et l'agriculture.

SUMMARY: All technological advances from other spheres of the human activity have profited to agriculture, thus involving its remarkable rise to meet the nutritional needs for a rapidly increasing world population. The industrial age brought mechanization and fertilizer to agriculture. The age of technology provided automation and the genetic engineering. The information era arrived with all the potential necessary to integrate technological and industrial advances in a durable agricultural production system [9]. This article briefly explores the use of computers and information technologies to boost the management of the rural economy. It also proves the feasibility of databases to improve the management system of agriculture with an aim of increasing its productivity. It is intended to help rural domain researchers and managers to decide if they need to use database software to manage their row data. The databases remaining the essential tool for the scientometry - quantitative analysis of scientific production and networks – it is undeniable that its implementation in the research activities contributes enormously to the success of this one.

Keywords: databases, rural development, Decision support systems, initiative-riz, and information system

I. INTRODUCTION

L'application de l'ordinateur dans la recherche agricole était originellement limitée à la conversion des formules statistiques ou des modèles numériques complexes. A l'étape suivante, l'ordinateur a été utilisé dans la mécanisation, l'automatisation et dans le développement de systèmes d'aide à la décision dans le but de pouvoir prendre des décisions stratégiques sur la recherche agricole avec un accent particulier sur la production et la protection. Récemment, la télédétection et le système d'information géographique (SIG) jouent un rôle majeur et crucial dans la recherche agricole surtout dans des domaines tels que : les systèmes de

prévision, d'adaptabilité des sols à certaines spéculations et le modèle d'allocation de ressources spécifiques ou intrants agricoles[9].

En somme, l'ordinateur est utilisé dans bon nombre de domaines qui servent directement le monde rural. Sans pour autant prétendre à être exhaustifs, nous pouvons en citer : les Systèmes d'Information (SI), le Data Mining (DM), la Bio-informatique, la Télédétection et les Systèmes d'Information Géographiques (SIG), l'Agriculture de précision, les systèmes-Experts et les systèmes d'aide à la décision[11][14].

Les bases de données sont une composante de la quasi-totalité des systèmes d'information au sens large du terme, donc elles demeurent aussi une des constituantes des systèmes d'aide à la décision.

Plus la complexité de la vie dans ce monde moderne croît avec une rapidité effarante, plus la complexité des problèmes auxquels doivent faire face les décideurs politiques croît aussi à une vitesse correspondante. Les systèmes intuitifs traditionnels d'aide à la décision ne demeurent plus adéquats pour diluer ces problèmes complexes. Ainsi, de nouveaux systèmes doivent être développés pour fournir de l'information et l'analyse nécessaire pour la prise de décision. Justement, nous appelons ces systèmes des systèmes d'aide à la décision (ang. Decision Support Systems – DSS). Pendant que les systèmes de base de données fournissent un ingrédient clé aux systèmes d'aide à la décision, les caractéristiques des problèmes auxquels font actuellement face les décideurs politiques sont différents de ceux pour lesquelles les systèmes de base de données étaient employés par le passé. Nous voulons ainsi attirer l'attention sur le fait que d'habitude, les problèmes ne sont pas connus à l'avance ; ils changent constamment et des réponses exigées le sont dans un bref délai. De là, des technologies supplémentaires, des méthodologies et des approches doivent étendre le champ de la recherche en bases de données et en systèmes d'exploitation afin que ces derniers deviennent réellement effectifs dans l'assistance aux décideurs politiques[7].

Cet article décrit notre travail dans le domaine de la gestion de l'information particulièrement l'utilisation d'une base de données au service du monde rural. Il présente spécifiquement et clairement le rôle qu'a pu jouer une base de données dans la gestion des subventions des intrants agricoles dans le cadre du projet national phare de l'Initiative riz. La mise en œuvre de l'initiative riz devrait permettre au Mali de booster la productivité agricole de manière à être, non seulement, autosuffisant en matière alimentaire, mais aussi et surtout à devenir exportateur des denrées alimentaires. La réalisation d'une telle ambition devrait se reposer en partie sur la bonne gestion du système (de l'initiative-riz) : des subventions sur les intrants agricoles, du contrôle des surfaces à emblaver déclarées, du suivi correct et de traitement des cultures, de l'assainissement du système d'irrigation, de la minimalisation des pertes post-récoltes, de l'utilisation de méthodes adéquates de conservation des récoltes, etc.

Cet article démontre la faisabilité d'une base de données pour aider le système de gestion de l'agriculture dans le but d'accroître la productivité. Il est destiné à aider les chercheurs et les gestionnaires de la recherche à décider s'ils ont besoin de faire usage d'un logiciel de base de

données pour gérer leurs données. Les bases de données demeurant l'outil essentiel pour la scientométrie - analyse quantitative de la production et des réseaux scientifiques – il est indéniable que sa mise en œuvre dans les activités de recherche contribue énormément à la réussite de celle-ci. Le développement des outils et des méthodes scientométriques représente actuellement un enjeu considérable pour l'évaluation de la recherche. Nous utilisons Microsoft Access à titre d'exemple, mais les concepts sont d'ordre général et s'appliquent également à tout système de gestion de base de données relationnelle, objet ou hybride.

II. CONTEXTE

Au fur et à mesure que la complexité des activités et des conditions de la vie moderne augmente drastiquement, celle des problèmes dont font face les décideurs croît de façon similaire. Les méthodes intuitives traditionnelles de prise de décision ne sont plus adéquates pour traiter cette nouvelle classe de problèmes [7]. Cette évolution dans la vie et des problèmes qu'elle engendre s'observe dans pratiquement tous les domaines de l'activité humaine.

La technique de programmation des machines mathématiques partit des abaques, passa par la programmation avec « go to », la programmation structurée que les anglo-saxons appelleront top-down programming ou bottom-up programming et adopte actuellement la programmation orientée objet. Les programmeurs ont une vision objet de ce monde qui nous entoure. A l'instar de la technique de programmation, la pratique des activités rurales et la technique agricole ont considérablement évolué ; de l'agriculture de subsistance on est passé à l'agriculture industrielle d'exportation. Malgré l'accroissement trop rapide de la population à nourrir, l'agriculture et l'économie rurale ont pu non seulement relever le défi en assurant décemment la nourriture à cette masse, mais également, elles sont parvenues à s'élever à l'échelle en produisant pour l'exportation. De l'agriculture extensive, de subsistance, le système agricole a traversé un certain nombre d'étapes pour se situer dans un cadre de production industrielle. Qu'est ce qui est à l'origine de cette révolution verte ?

L'agriculture n'est pas restée en marge des révolutions scientifiques, techniques et technologiques. La mécanique, l'électricité, l'information et bien d'autres domaines ont pratiquement révolutionné tous les aspects de l'activité de l'homme dont l'agriculture [9]. S'agissant de l'information, les SIG s'invitent dans la constitution et l'exploitation des bases de données spatiales. Dans la société de l'information,

l'information est la matière première ; elle sous-tend la compétitivité de l'entreprise. Aujourd'hui, elle demeure aussi importante que le capital financier. Cette information résulte du traitement des données brutes de bases contenues dans des bases de données. Qui dit base de données, parle d'un ensemble structuré et bien organisé de données relatif à un domaine, une affaire, un métier, pour assainir sa gestion.

Les bases de données, considérées comme l'ingrédient essentiel des systèmes d'aide à la décision, doivent faire l'objet d'attention accrue pour la recherche en général et pour la recherche agricole en particulier. C'est la composante principale sur laquelle se base la scientométrie, l'infométrie, la bibliométrie. Pour ces considérations, il est nécessaire de traiter cette thématique pour la rendre plus compréhensible aux chercheurs. Dans ce travail, nous nous penchons sur la composante base de données dans les systèmes d'aide à la décision « ouvert ».

III. INITIATIVE RIZ

Dans la perspective d'apporter une réponse structurelle à la crise alimentaire généralisée de 2008 et de mettre nos populations à l'abri des soubresauts des marchés internationaux, le Gouvernement du Mali a décidé de mobiliser tous les atouts dont le pays dispose et les mettre en synergie dans une démarche volontariste à travers la mise en œuvre d'un plan d'opération appelé « Initiative Riz ».

Ce plan vise à réaliser l'autosuffisance du pays en riz dès la campagne 2008-2009[3].

L'augmentation de la production doit permettre de satisfaire la consommation intérieure et de faire du Mali un exportateur net de riz. Cette vision s'appuie sur le potentiel existant en terre, en eau et en ressources humaines.

L'opérationnalisation de l'Initiative Riz s'est appuyée sur les stratégies visant à :

- accroître la productivité des différents systèmes de production par une intensification agricole basée sur la disponibilité de l'eau, l'approvisionnement correct en engrais et en semences, l'équipement des petits producteurs et la mécanisation de l'agriculture ;
- valoriser les filières agricoles en y apportant de la valeur ajoutée par la mise en œuvre des unités de transformation adaptées et performantes.

La mise en œuvre de l'Initiative Riz est basée sur :

- la subvention des intrants agricoles (engrais et semences),
- le préfinancement des équipements,
- le renforcement de l'appui conseil ;
- l'appui au fonctionnement de certaines structures de production.

Nous nous intéresserons dans ce travail à la subvention sur les intrants et sa gestion.

Objectifs de production

L'objectif de production du plan d'opération de l'Initiative Riz 2008/2009 est de 1,6 million de tonnes de paddy, soit 1 million de tonnes de riz marchand. Cette production couvre les besoins de consommation interne et dégage un excédent de 100 000 tonnes de riz marchand. Le coût total de l'Initiative Riz est de 42,65 milliards F.CFA dont 10,71 milliards de F.CFA de subvention orientée principalement sur les intrants (semences et engrais) et l'appui conseil [3].

La subvention

La subvention de l'Etat a porté sur :

- **2008/2009:** les engrais minéraux et les semences certifiées du riz NERICA4 pour la production du riz;
- **2009/2010 et 2010/2011:** les engrais minéraux, les engrais organiques produits par les unités industrielles pour la production du riz, du maïs, du blé, du coton et les semences certifiées du blé, du maïs hybride, du niébé, du sorgho ;
- **2011/2012:** En sus des autres cultures déjà mentionnées en 2010/2011, l'extension de la subvention a concerné les engrais sur les mil/sorgho (micro dose 32kg/ha) en 2011/2012 dans les grands bassins de production.

Les Prix de Cession (PC) de ces engrais aux producteurs sont déterminés en début de chaque campagne agricole et adoptés par le Conseil Supérieur de l'Agriculture (CSA). Le prix de 12 500 FCFA/sac de 50 kg d'engrais minéral tout type confondu a été maintenu jusque-là. Pour les semences le prix de cession représente 50 à 60% du coût réel de vente par les coopératives semencières ou par les producteurs semenciers/privés [3].

Les Prix Repères des Fournisseurs sont fixés pour chaque type d'engrais et par zone de livraison en concertation avec les fournisseurs. Ces prix ont subi une baisse entre 2008 et 2011 en passant de 20 000 FCFA le sac de 50Kg d'urée et 25 000 FCFA le sac de 50 Kg de DAP en 2008, à 16 000 FCFA le sac de 50Kg d'urée et 21 225 FCFA le sac de 50 Kg DAP en 2011.

Au-delà de ces prix repères, aucune offre de fournisseur d'engrais n'est recevable dans le cadre de la mesure de subvention.

La subvention à la charge de l'Etat porte sur le différentiel entre le prix de cession et les prix repères des fournisseurs.

L'accès à la subvention est subordonné à la présentation d'une caution technique délivrée par les structures d'encadrement.

La caution technique

Sur la caution technique, les indications suivantes sont inscrites :

- Nom et prénom du bénéficiaire-sexe- N° Identification, Région, Commune, Village-Structure d'encadrement
- Type de culture pratiquée et superficies emblavées
- Type d'engrais et besoin en engrais en tonne ou en sac de 50Kg
- Date de délivrance
- Nom et prénom de l'Agent d'encadrement et sa Signature
- Visa du Chef Secteur/Zone ou son représentant.

La figure 1 présente la caution technique dans sa première version

Figure 1. Caution Technique, version en vigueur en 2009-2010

Le remboursement des subventions

Le paiement de la subvention aux fournisseurs des intrants agricoles se fait sur la base de la quantité d'engrais livrée par les fournisseurs et constatée sur les cautions techniques des bénéficiaires.

Tableau 1 [3]: Subventions accordées par l'Etat

Désignation	Campagne 2008/2009	Campagne 2009/2010	Campagne 2010/2011
Riz	11 585 352 355 FCFA	2 977 824 085 FCFA	9 877 978 600 FCFA
Blé	0	53 175 431 FCFA	621 721 500 FCFA
Maïs	0	2 286 543 494 FCFA	4 538 809 800 FCFA

Système Coton	0	10 805 263 840 FCFA	10 005 886 405 FCFA
Semences Riz	53 128 620 FCFA	77 193 150 FCFA	753 900 000 FCFA
Semences Sorgho	0	0	477 250 000 FCFA
Semences Niébé	0	0	241 132 500 FCFA
Total	11 638 480 975	16 200 000 000 FCFA	26 516 678 805 FCFA

IV. METHODOLOGIE

La méthodologie utilisée est basée sur la collecte des données à partir des cautions techniques remplies par les producteurs (individuels et organisations paysannes) par rapport à leurs superficies cultivées en riz, maïs, blé, coton et leurs besoins en engrais. La caution technique est élaborée, distribuée et collectée par la Direction Nationale de l'Agriculture en s'appuyant sur toutes ses structures techniques déconcentrées. Elle renferme des indications citées au point III – 3.2

Les données ainsi recueillies sont saisies dans une base de données conçue à cette fin. Cette base sert de mémoire pour le suivi du système de gestion et de subvention des intrants agricoles. Elle sert aussi pour la prise de décisions tactiques et stratégiques par rapport au fonctionnement du projet puisqu'elle fournit des données non seulement pour le suivi mais aussi pour l'appui-conseil. Sur la base de séries de données collectées pendant une certaine période, les décideurs peuvent, à la suite de leur traitement, corriger les dysfonctionnements, ajuster des déviations constatées et prodiguer des conseils à qui de droit pour la réussite de tout le système. C'est dans ce cadre que la base de données ainsi organisée s'insère pleinement dans ce qu'on appelle « les systèmes d'aide à la décision ». Notons bien que ce présent cas de système de décision est plutôt moins dynamique puisqu'elle s'appuie sur la collecte statique des données auprès des exploitants sans d'autres formes de contrôle en temps réel. Si, par exemple, la base de données était alimentée avec des données sur les superficies emblavées à partir des systèmes d'information géographiques, les déclarations de l'exploitant pouvaient être vérifiées à tout moment de la campagne et par conséquent, la subvention d'intrants serait revue correctement de façon très dynamique. Dans tous les cas, les bases de données permettent ici de circonscrire une certaine catégorie de fraudes à un certain niveau.

V. LES SYSTEMES D'AIDE A LA DECISION

Généralités

Les systèmes d'aide à la décision, brièvement appelés les SAD sont une catégorie spéciale de systèmes d'information automatisée qui soutient les affaires et les activités organisationnelles exigeant

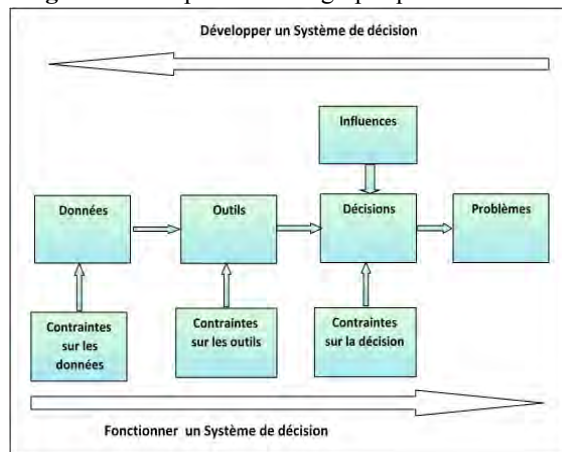
une prise de décision. Le SAD correctement conçu est un système articulé autour d'un logiciel interactif qui a pour but d'aider les décideurs à compiler l'information valable à partir des données brutes, des documents, de la connaissance personnelle, et/ou des modèles économiques pour identifier et résoudre des problèmes et pour prendre des décisions. Les théoriciens décrivent le SAD comme étant des systèmes informatisés interactifs, qui aident des décideurs à utiliser des données et des modèles pour résoudre des problèmes non structurés[4]. Les systèmes d'aide à la décision sont des applications du modèle de Herbert Simon. Le modèle a trois phases : intelligence, conception et choix. Les systèmes d'aide à la décision aident fondamentalement la phase d'intelligence où l'objectif est d'identifier le problème et puis d'aller à la phase de conception pour la solution. Jawadekar W., Sprague R.H. et Watson H.J. ont également énoncé que les modèles conceptuels ou les cadres sont essentiels pour comprendre un nouveau système complexe. Le SAD est un système largement informatisé pour aider les décideurs à employer des données et des modèles dans le but de résoudre un ou des problèmes mal structurés, non structurés ou semi-structurés [6][10].

Le SAD est essentiel pour la société parce que la prise de décision implique un ordre complexe d'activités dans le temps. Les systèmes d'aide à la décision couplent les ressources intellectuelles des individus avec les possibilités de l'ordinateur pour augmenter la qualité des décisions [11]. Les objectifs principaux du SAD sont d'augmenter l'efficacité du processus décisionnel des décideurs [9]. Il les soutient dans le processus décisionnel mais ne les remplace pas dans la prise de décision.

En passant en revue l'histoire des SAD, nous constatons que les chercheurs et les technologues de systèmes d'information ont minutieusement investigué dans ce domaine depuis des décennies. Les systèmes d'aide à la décision ont évolué depuis les premières heures de l'avènement des systèmes informatiques réparties. Ce genre de systèmes a commencé vers les années 1965 et il est devenu important de commencer à formaliser un très grand nombre d'idées, à reconnaître l'apport de beaucoup de personnes, de systèmes et de technologies impliqués dans ce domaine important de l'informatique appliquée [4].

La figure 2 présente graphiquement un système d'aide à la décision. On y voit le sens à suivre lors de la conception d'un tel système et celui à observer lors de son fonctionnement.

Figure 2 : la représentation graphique d'un SAD



Les SAD ont principalement trois fonctions [6]:

1. les possibilités de saisir et de sauver l'information sur des activités précédentes ;
2. les possibilités de traitement de l'information ;
3. les possibilités d'extraction d'informations stratégiques.

Les deux sens sont diamétralement opposés. Cela se comprend dans la mesure où dans la procédure de développement des décisions, nous devons partir d'une certaine classe de problèmes pour cheminer vers la définition du type de données à collecter pour les satisfaire. Par contre dans le fonctionnement, nous nous servons de données collectées qui alimentent le processus de traitement pour enfin élaborer la décision.

La décision finale n'est pas le résultat strict provenant du traitement des données au moyen des outils mis à disposition. Celle-ci est impactée par des influences externes mais inhérentes au système et les contraintes internes sur elle.

Justement, la figure 3 présente un exemple de SAD qui traite la prise de décision en agriculture par rapport à divers facteurs pris en compte, tels que les ressources en eau et les possibilités d'irrigation, la disponibilité des pronostics météorologiques sur une certaine période, la température, etc.

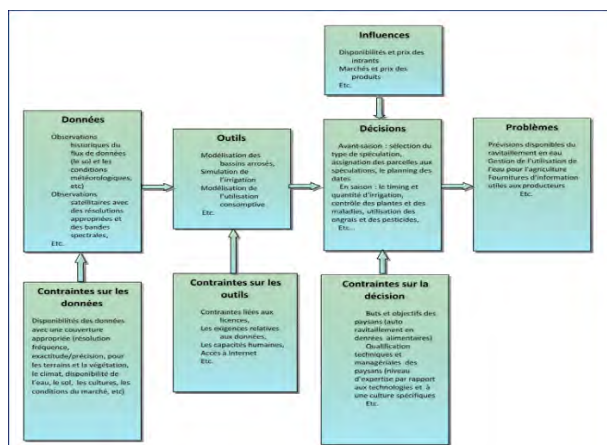


Figure 3[5]: Un exemple de SAD qui traite la prise de décision par rapport à divers facteurs

Types de SAD

Nous présentons les différents types de systèmes d'aide à la décision sachant chacun de types comporte une base de données. Les SAD peuvent être classé par catégorie dans de nombreux types [6]:

- Système d'enquête de statut :** Le nombre de décisions dans la gestion opérationnelle et certains en milieu de la gestion sont tel qu'ils sont basés sur un ou deux aspects d'une situation de prise de décision. Elle ne réclame aucun calcul raffiné, aucune analyse ou choix pour la prise de décision. Si le statut est connu alors la décision est automatique. Il signifie que le statut et la solution ont des relations uniques.
- Système d'analyse de données :** Ces systèmes de décision sont basés sur l'analyse comparative et l'utilisation d'une formule ou d'un algorithme. Mais ces processus ne sont pas structurés et ne varient donc pas. Quelques exemples incluent l'analyse de marge de financement, l'analyse d'inventaire et le système d'inventaire personnel. L'utilisation des outils informatiques simples et des principes économiques sont exigés pour développer ce type de système.
- Système d'analyse de l'information :** Dans ce genre de système, des données sont analysées et des rapports d'information sont produits. Les rapports pourraient avoir des exceptions comme dispositif. Les décideurs emploient ces rapports pour l'évaluation de la situation pour la prise de décision.
- Plan comptable :** Ces systèmes ne sont pas nécessairement pour la prise de décision mais ils sont souhaitables pour maintenir des aspects importants des affaires ou de la fonction. Le contenu de ces systèmes est plus le traitement de l'information conduisant au reportage formel avec des exceptions au besoin.
- Système basé modèle :** Ces systèmes sont des modèles de simulation ou des modèles

d'optimisation pour la prise de décision. Ces décisions sont peu fréquentes et donnent les orientations pour la gestion des opérations. Quelques exemples incluent les décisions de composition de produit, d'alliage de matériaux, les règles d'établissement du programme de travail et les systèmes de planification des équipements, des ressources et des moyens financiers.

Définition d'une base de données

Il est autant important de donner ici une définition des bases de données autant les conceptions erronées par rapport à cette notion sont nombreuses.

Une **base de données** (en anglais : *database*) est un outil permettant de stocker et de retrouver l'intégralité de données brutes ou d'informations en rapport avec un thème ou une activité ; celles-ci peuvent être de natures différentes et plus ou moins reliées entre elles [2]. Dans la très grande majorité des cas, ces informations sont très structurées, et la base est localisée dans un même lieu et sur un même support. Ce dernier est généralement informatisé. La base de données est au centre des dispositifs informatiques de collecte, de mise en forme, de stockage, et d'utilisation d'informations [8].

Pour ce texte, une définition restrictive d'une base de données est retenue.

« ... une base de données est une collection structurée de données stockées, contrôlées et auxquelles l'accès se fait par ordinateur sur la base des relations prédéfinies entre des types de données prédéfinies relatives à un métier, une situation, un ou problème spécifique » [1].

« Une pile de papiers dans un bureau ne constitue pas une base de données parce qu'on y accède pas par ordinateur. Aussi, le World Wide Web entier n'est pas une base de données de ce type, car il n'y existe pas de relations prédéfinies entre les types de données prédéfinies » [1].

Importance des bases de données

Les bases de données sont au cœur des opérations des organisations. Elles supportent des activités comme la gestion des commandes, les relations avec les clients, la planification de la production, la gestion du personnel. À titre d'exemple, les grandes sociétés de services publics gèrent tous leurs dossiers clients grâce à des bases de données ; les documents sur support papier deviennent accessoires. Toutes les informations opérationnelles vitales pour les organisations sont consignées dans les bases de données. Les bases de données sont essentielles à

l'automatisation des processus d'affaires, du commerce électronique.

VI. RESULTATS

GESINT ou le système de gestion de l'Initiative-Riz

La cellule de gestion de l'Initiative Riz, à travers son chef d'alors, un conseiller technique du ministère de l'Agriculture, directeur de recherche, Dr Mamadou Goïta, paix à son âme, ex-directeur de l'Institut d'Economie et ex Secrétaire général du Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage, a commandité la création d'un système d'information qui prendrait en charge la gestion du volet subvention de ce projet national phare. Dr M. Goïta était un grand visionnaire qui a trop tôt vu en l'informatique, en tant que domaine transversal, un outil extraordinaire pouvant être utilisé pour gérer tous les aspects de ce projet, mais vu les réticences qui ont borné ses ambitions, la gestion informatisée se limitera à l'aspect « subvention ». Il convient de noter que Dr M. Goïta, avant de rencontrer l'informaticien, était déjà engagé dans l'utilisation de Microsoft Excel, des feuilles de calcul, pour gérer les subventions.

Justement, la réalisation de ce volet sera le résultat proprement dit, présenté dans ce travail.

Le système de gestion dont il est question se désigne sous le vocable de GESINT pour Gestion de l'Initiative-Riz. GESINT n'est pas une application répartie, puisqu'il ne devrait être utilisé qu'au sein de la cellule de l'Initiative Riz. Nous avons choisi dans ce contexte le Microsoft Access, comme Système de Gestion des Bases de Données Relationnelles (SGBDR) disponible sur les ordinateurs de la cellule et de la Direction Générale de l'Agriculture. D'ailleurs, le moyen avec lequel nous allions réaliser ce système n'est pas le plus important, mais sa simple réalisation avait un aspect pédagogique. Il s'agissait, avant tout, de démontrer aux décideurs et aux chercheurs du domaine du monde rural que les ordinateurs dont ils disposent renferment d'autres outils autres que Word, Excel et PowerPoint qu'ils peuvent utiliser ou faire utiliser pour faciliter leur travail au quotidien de gestion, collecte et stockage de données pour une extraction intégrale plus tard. Dans leur imaginaire, l'ordinateur est simplement le remplaçant de la machine de dactylographie et l'informaticien est la secrétaire de dactylo par excellence.

Le système de gestion aide les décideurs à prendre des décisions utiles pour la poursuite et la survie du projet. Ces décisions sont une compilation des analyses faites de la hauteur et de la nature des subventions accordées, de la nature et de la qualité des conseils prodigués aux producteurs, de la nature, de la quantité, et de la qualité des équipements

données aux producteurs, de la hauteur de la production agricole engendrée et de beaucoup d'autres facteurs, endogènes et exogènes du système. Bref, il s'agit d'estimer la rentabilité du système ; comment l'utilisation des intrants a pu occasionner une production de telle grandeur dans un environnement de production aussi complexe. Quelle que soit la déviation, positive ou négative, par rapport aux attentes formulées, la décision doit être prise pour assurer la rentabilité du système.

Les interfaces

Elles sont nombreuses et comportent une imbrication à quatre niveaux. Ce sont des interfaces conviviales qui contribuent à rendre plus agréable la conversation homme-machine.

Page d'accueil

La figure 4 présente la page d'accueil du système. On y voit deux liens sous forme de bouton à cliquer portant explicitement une écriture dont le sens définit l'action à exécuter : *Allez au menu principal* en couleur vert ou *Quitter l'Application* en couleur rouge.



Figure 4 : Page d'accueil de GESINT

Le Menu principal de l'application

Ce menu se compose de quatre grandes catégories de menus inférieurs dont celui de :

- saisies des données,
- mises à jour,
- modèles de consultation,
- rapports.

A ce niveau, l'utilisateur peut décider de quitter l'application  ou retourner  à l'endroit d'où il est parti.



Figure 5 : Le menu principal

Menu des saisies de données

Ce menu renferme quatre liens renvoyant chacun sur une catégorie de données à saisir dont :

- des données relatives à la caution technique décrite plus haut et constituant l'élément essentiel du système de gestion de la subvention de l'Initiative Riz,
- des factures aux fournisseurs,
- des données sur les fournisseurs,
- des données dont l'élaboration engendre la subvention réelle que l'Etat doit aux fournisseurs.

La figure 6 représente le menu des saisies de données



Figure 6 : le menu des saisies de données

Saisie de la caution technique

C'est justement l'élément principal du système. Elle a valeur d'or puisque sa possession vous procure de l'argent. La figure 7 présente une caution technique.

Figure 7 : La caution technique

Cet écran de saisie, dans le souci d'en faire le reflet de l'original en termes de contenu, a été adopté pour rendre sa compréhension triviale aux utilisateurs et aux agents de saisie. Vu le très grand nombre de

producteurs envisagés, la saisie des cautions n'est pas une activité banale et rapide. La figure 8 représente l'écran de saisie des factures.

Figure 8 : L'écran de saisie des factures

Consultation de la base de données

Sur la figure 9, l'interface de consultation est visible. Cette interface renferme des liens renvoyant sur l'exécution de requêtes. Le sens du libellé du lien est explicite. Il est possible de faire le choix de la campagne agricole et de la région au sujet desquelles l'utilisateur veut consulter des informations élaborées à partir des données brutes.

Figure 9 : Interface de consultation

Nous pouvons par exemple consulter la liste des localités dans les lesquelles des producteurs ont eu à faire des demandes d'engrais et qui en ont reçu. Le nombre de cautions établies par localité d'une région administrative est lisible.

Tableau 2 : la liste du nombre des producteurs enregistrés par commune de la région de Gao

Région	Cercle	Commune	Campagne	Nbre de caution émises
Gao	Bourem	Bourem	2009-2010	8
Gao	Gao	Soni A. B.	2009-2010	1

Rapportage

Il s'agit de produire des rapports d'exploitation de la base de données, c'est-à-dire des états de gestion. La figure 10 présente le menu principal de rapportage contenant deux liens de modèles.



Figure 10 : Le menu des modèles de rapports

Suivant le modèle premier, nous pouvons accéder à plusieurs états dont la liste est visible sur la figure 11



Figure 11 : Le menu des états suivant le modèle 1

Le menu de la figure 11 propose :

- **Le rapport sur les producteurs ou les bénéficiaires de l'engrais comprenant :**
 - Le tableau du nombre de producteurs regroupés par structure technique

Campagne	Total	Producteurs individuels	Op	NonStructure
2009-2010				
	11736	10587	3490	Direction Nationale de l'Agriculture
	4588	4578	2813	Offices de Développement Rural des
	11028	10654	842	Offices de Négociation
	2660	2592	886	Offices Riz Maïs
	38	0	38	Offices Riz Soja
	1	1	0	Zone CMTT
Somme	30049	28412	10069	
Total général	30049	28412	10069	

Figure 12 : liste des nombres de producteurs par structures d'encadrement technique

Sur la figure 12, on notera que la CMDT en tant structure n'a qu'un seul producteur. Il en est ainsi parce que la cellule de l'Initiative Riz ne s'était pas trop immiscée dans la gestion des engrais de cette structure. La CMDT exprime ses besoins globaux, et le suivi en détails lui incombait.

- Le tableau avec synthèse du nombre de producteurs par Circonscription administrative (région, cercle, commune) ;
- La liste exhaustive et nominative des

Besoins en intrant par cercle et commune						
Région	Cercle	RCommune	Besoins en DAP	Besoins en URÉE	ComplexeCereale	ComplexeCoton
Bamako	District Bamako	Commune 1	1371	595		2009-2010
		Commune 2	108028	345881		2009-2010
		Commune 3	0	2		2009-2010
		Commune 4	466	238		2009-2010
		Commune 5	113	138		2009-2010
		Somme de Cercle	1088955	347185		
	Somme Régionale		1088958	347185		
	Cao	Bouren	385	640		2009-2010
		Somme de Cercle	280	640		
	Somme Régionale		280	640		

Figure 13 : Etat des besoins en engrais des producteurs regroupés par circonscription administrative

Producteurs par circonscription administrative (région, cercle, communes) : sur la figure 13, nous pouvons lire le nombre de producteurs par région, cercle et commune.

- **Rapport sur les besoins en intrants (engrais)**
 - Besoins globaux,

Besoin global en engrais					
Campagne	Nbre de Producteurs	en URÉE	en DAP	en ComplexeCereale	en ComplexeCoton
2009-2010					
	30049	1052419	1773754		
Somme pour la campagne	30049	1052419	1773754		
Total général	30049	1052419	1773754		

Figure 14 : Etat des besoins globaux en engrais.

La figure 14 présente clairement la quantité selon le type d'engrais demandé par les acteurs.

- Besoin par structure technique,

Besoin en engrais par Structure Technique			
Campagne	NonStructure	DAP (Sacs de 50kg)	URÉE (Sacs de 50kg)
2009-2010			
	Direction Nationale de l'Agriculture	178021	124622
	Offices de Développement Rural des	10308	14738
	Offices de Négociation	40042	118794
	Offices Riz Maïs	10588	13304
	Offices Riz Soja	38	38
	Zone CMTT	1	0
Somme	30049	1052419	1773754
Total général	30049	1052419	1773754

Figure 15 : Etat de la répartition des besoins en engrais par structure d'encadrement technique.

- Besoins par spéculations cultivée,

Besoin en engrais pour la Culture N°1					
Campagne	Culture N°1	BesoinsEngraisDAP	BesoinsEngraisURÉE	BesoinsComplexeCereale	BesoinsComplexeCoton
2009-2010					
		624951	451313		
Somme	624951	451313			
Total général	624951	451313			

Figure 16 : Etat de répartition des besoins en engrais par type de culture – le riz

Il est tout à fait intéressant d'analyser la répartition suivant les types de culture. Le nombre trop élevé d'états de gestion fait que nous ne pouvons pas tout présenter dans ce travail. Les figures 16 et 17 présentent respectivement les besoins exprimés pour le riz ou la culture n°1 et le maïs ou la culture n°2.

- o Pour la culture n°1 : le riz
- o Pour la culture n°2 : le maïs

Besoin en engrais pour la Culture N°2

Campagne	Culture_Mais	Besoin en DAP	Besoin en UREE	Besoin en Complexe Cereale	Besoin en Complexe Coton
2009-2010					
Somme		177354	105419		
Tau général		177354	105419		

Figure 17 : Etat de répartition des besoins en engrais par type de culture – le maïs

- o Pour la culture n°3 : le blé
- o Pour la culture n° 4 : le coton

Rapport sur les superficies emblavées

- Superficie cultivée par structure d'encadrement technique, voir figure 18.

Superficie par Structure Technique

Campagne	2009-2010		
NomStructure	Superficie Pour Culture N°1 [Ha]	Superficie Pour Culture N°2 [Ha]	Superficie Pour Culture N°3 [Ha]
Direction Nationale de l'Agriculture	30 400.44	55 284.58	2 610.50
	9.18%	2.13%	99.05%
Office de Développement Rural de Niamey	5 249.47	5 588.21	25.00
	1.32%	0.22%	0.95%
Office du Niger	83 685.78	966.05	0.00
	21.10%	0.04%	0.00%

Figure 18 : Etat des superficies emblavées regroupées par structure d'encadrement technique

- Superficie cultivée par structure administrative
- Superficie cultivée par spéculation
 - o Pour le riz
 - o Pour le maïs
 - o Pour le blé
 - o Et pour le coton

Suivant le **second modèle**, l'utilisateur peut produire, voir figures 19 et 20 des rapports relatifs :



Figure 19 : Le menu des rapports

- aux superficies globales ou individuelles emblavées.
- aux besoins individuels ou, globaux en engrais, par structure technique, par circonscription administrative) par campagne, etc.

- aux producteurs individuels ou aux organisations paysannes, par structure technique, par circonscription administrative par campagne.
- aux subventions.



Figure 20 : un exemple de menu pour les rapports sur les superficies emblavées

Dans le rapportage suivant le modèle 2, l'utilisateur, s'il le veut, peut toujours :

- o avoir un aperçu de l'état avant impression,
- o l'imprimer ou l'envoyer par courriel à un collaborateur

Superficie cultivée par circonscription administrative

Campagne	Région	Cercle	Commune	Superficie pour la Culture N°1 [Ha]	Superficie pour la Culture N°2 [Ha]	Superficie pour la Culture N°3 [Ha]
2009-2010	Bamako	District Bamako	Commune 1	234.80 0.06%	187.50 0.01%	0.50 0.02%
			Commune 2	250 205.00 63.89%	2 529 942.50 97.67%	0.00 0.00%
			Commune 3	0.00 0.00%	1.00 0.00%	0.00 0.00%

Figure 21 : un aperçu de l'état avant impression de la superficie cultivée par circonscription administrative. Nous pouvons y lire la répartition des superficies par région, cercle et commune.

Les mises à jour

Le système étant appelé à évoluer, il va sans dire que de nouveaux types d'engrais, de nouvelles structures techniques, de nouveaux sites de dépôts, de nouveaux types de culture pourraient être sollicités. Ces types de données alimentent les listes déroulantes nécessaires pour assurer l'uniformité de l'écriture dans la base de certains types de données. Cela participe de la fiabilité des résultats des requêtes formulées. Si, par exemple, nous laissons le soin aux agents de saisie l'écriture à partir du clavier le nom du type d'engrais, alors le même type d'engrais pourrait se trouver différemment enregistré et la requête formulée pour produire une liste ou une statistique donnerait de faux résultats. Pour ce faire, il est tout à fait juste de recourir lors des saisies aux listes déroulantes qui imposent à l'agent chargé de l'enregistrement une forme unique

de représentation de données. Tous les états de gestion ne pouvant pas s'insérer dans ce travail limité en volume, le lecteur nous pardonnera de ne lui avoir pas tout présenté. L'objectif était de démontrer la faisabilité d'un tel système pour le monde rural et d'inciter les décideurs et les chercheurs de ce domaine à s'inscrire dans cette démarche et l'adopter. La figure 22 présente les types de mise à jour.



Figure 22 : Le menu des mises à jour.

VII. DISCUSSIONS

La réalisation de ce système a permis d'automatiser les procédures de gestion par rapport à la subvention sur les engrais. Il faut retenir que ce système collecte des données réelles à partir de la caution technique, les structure, organise et élabore l'information au moyen des requêtes SQL qu'il présente sous forme de tableaux et d'états avec synthèse. Beaucoup d'enquêtes se font au Mali, mais ne font pas l'objet d'organisation de base de données SQL. Les enquêtes dans le domaine qu'est l'agriculture et l'économie rurale fournissent directement des données aux logiciels de statistique. Le système de Gestion des Intrants de l'Initiative Riz, dénommé GESINT, peut servir de mémoire, assurant ainsi la facilitation de la traçabilité scientifique dans le domaine qu'est le sien. C'est une situation inédite au Mali. Les données peuvent être cumulées dans GESINT sur une longue période et servir à alimenter un système d'analyse statistique.

VIII. CONCLUSION

Les bases de données dans les systèmes d'aide à la décision, qu'il soit ouvert ou fermé, apportent de la valeur ajoutée en assistant les décideurs, dans ce cas précis, du domaine de l'économie rurale. Il peut apporter les moyens nécessaires pour répondre à la question comment assurer la gestion annuelle ou pluriannuelle d'une exploitation agricole, une ferme dans un environnement pourvu d'incertitude en ce qui concerne [5]:

- la disponibilité de l'eau,
- la date de semis et de récolte
- l'application des pesticides ou des engrais,
- la variabilité des marchés,

- la communication ou le transfert des technologies,
- l'élaboration d'une banque de sols avec une prédiction de leur fertilité et de système d'assolement, etc.

A travers ce travail, nous avons pu démontrer l'importance d'une base de données dans le système de gestion de l'économie. Ce système a eu la confiance des gestionnaires de la cellule de l'Initiative-Riz et du directeur national de l'agriculture.

En perspective, nous voudrions explorer la synergie qui peut exister entre les systèmes de bases de données et les systèmes d'informations géographiques et la Télédétection dans le but de pouvoir mettre au point un système dynamique pleinement interactif. Un tel système aura l'avantage de conseiller les acteurs en temps réel et de leur fournir les moyens nécessaires pour assigner, par exemple, une telle culture à un tel sol pendant une période donnée.

REFERENCES

- [1] Alter, Steven, Information systems, a management Perceptive, Addison_wesley, Reading Mass, 1999, 523 p.
- [2] Bottema J.W.T, Siemon Hollema and Mohammad A.T.: Database Management and Analytical Techniques for Agricultural Planning: A Course Manual
- [3] Coulibaly, Présentation de l'Initiative-Riz du Mali, Conférence organisée par la Fondation Syngenta, Bamako du 5 au 7 octobre 2011
- [4] Gorry G, Scott Morton M (1989) The framework for Management Information Systems, Management Review, vol. 49.
- [5] George Smith Riverside Technology, inc. AMS Summer Community Meeting Boulder, Colorado August 8-11, 2011
- [6] Jawadekar Waman: Management information systems: Texts and cases. New York, NY: McGraw Hill. Kirk, 2006
- [7] John J. Donovan, Database system approach to management decision support M.I.T. Energy Laboratory in Association with the Alfred P. Sloan School of Management Working Paper No. MIT-EL-76-016 WP, July 1976
- [8] Marc Lebel, Conservation des bases de données, Section de la gestion de documents –Ville de Montréal Chargé de cours
- [9] M. Sabesh, Computer applications in agricultural research Model Training course on cultivation of long staple cotton, December 15-22 2007 Central Institute for Cotton Research, Coimbatore, India

- [10] Seena Kalghatgi¹, Kuldeep P. Sambrekar, Review: Using Cloud Computing Technology in Agricultural Development, M. Tech in Computer Science, Gogte Institute of Technology, Belagavi Dept. of Computer Science & Engg. Gogte Institute of Technology, Belagavi Affiliated to Visvesvaraya Technological University, Belagavi.
- [11] Sprague R.H., Watson H.J., Decision Support for Management, Upper Saddle River, Prentice-Hall, New York 1996.
- [12] Stanislaw Stanek, Jolanta Wartini-Twardowska, Zbigniew Twardowski, i inni:
- [13] Business Informatics, Publishing House of Wrocław University of Economics Wrocław 2013
- [14] Ugwuishiwu C.H, Udanor C., Ugwuishiwu B.O, Application of ICT in Crop Production International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE) ISSN: 2231-2307, Volume-2, Issue-4, September 2012.

Etude des possibilités d'adaptation de cinq variétés de blé tendre (*Triticum Aestivum*) en zone soudano-sahélienne du Mali

TOGOLA Adama^{1*}, NIANGALY Ousmane¹, SIDIBE Abdoulaye¹, DIALLO Paara dit Mamadou¹,
BOLOZOGOLA Dramane¹, DEMBELE Issa¹
¹ Enseignants-chercheurs, IPR/IFRA de Katibougou

*Adresse de correspondance : adamatogola2001@yahoo.fr

RESUME : Le blé est la plus importante des cultures vivrières. Il occupe le 6ème rang des céréales cultivées au Mali (Togola, A. 2013). Sa culture est confrontée à de nombreux problèmes, notamment le faible niveau des techniques culturales qui de nos jours sont jugées traditionnelles, la faible productivité du matériel végétal et enfin le manque de moyens adéquats au niveau des producteurs (semoir, batteuse, matériel de traitement phytosanitaire, etc.).

La recherche de matériel végétal performant et panifiable et l'utilisation des techniques culturales améliorées demeurent aujourd'hui la préoccupation des autorités du Mali pour rehausser le niveau de la production nationale de blé. Cette production nationale demeure faible avec une production moyenne annuelle de 40 071 tonnes en 2012 contre 27 430 tonnes en 2013. Le rendement optimum au Mali estimé à 4 t/ha en culture irriguée reste insuffisant en raison de l'inexistence de variétés très performantes, de manque de semences améliorées, de l'insuffisance de la fertilisation (normes d'intrants recommandées non respectées) et des itinéraires techniques non maîtrisés. (Koné, 2004). Les études diagnostiques des contraintes phytosanitaires de la culture du blé dans la zone d'intervention du PACCEM (Programme d'Appui à la Commercialisation des Céréales au Mali) ont montré que le bas rendement des variétés est imputable à la dégénérescence des semences et à la faible productivité des variétés vulgarisées (Goita, 2003). Ces contraintes ont été également identifiées par la CRU (Commission des Utilisateurs des Résultats de recherche) des trois régions nord du Mali comme prioritaire à la production du blé. La nécessité de 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.

C'est dans ce contexte, que le laboratoire d'Agrophysiogénétique et de Biotechnologies Végétales de l'IPR/IFRA de Katibougou a entrepris des études d'adaptation de nouvelles variétés de blé tendre afin d'apporter sa contribution dans la recherche de variétés à haut potentiel de rendement et adaptées en zone soudano-sahélienne du Mali dont le thème est : « Étude des possibilités d'adaptation de cinq (5) variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L) en zone soudano-sahélienne du Mali ».

La présente étude a pour but de contribuer à l'amélioration de la production et la productivité du blé au Mali d'une part et d'autre part à la recherche des possibilités d'intensification de cette culture en zone soudano-sahélienne du Mali par la caractérisation et l'adaptation de nouvelles variétés de blé tendre aux conditions climatiques des différentes zones de production du pays.

Les conditions climatiques jugées favorables enregistrées lors de l'essai de décembre 2014 à mars 2015 ont permis d'avoir des résultats très appréciables. Les températures basses nocturnes (10 à 15°C) et diurnes (25 à 30°C) durant le cycle de végétation ont influencé favorablement sur la croissance et le développement des variétés.

L'essai a été réalisé suivant un dispositif en bloc de Fisher à deux (02) répétitions. Les semis ont été réalisés dans dix demi-fûts d'une surface moyenne de 2550,46 cm² et un volume moyen de 105589,044 cm³. Le volume du substrat par fût est de 83910,134 cm³ constitué par un mélange de terreau et de terre dont le rapport est de 1 :1. Chaque deux demi-fûts comportent une variété. Le semis a été effectué le 25 décembre 2014. Les arrosages avaient lieu tous les matins et soirs à raison de trois (3) litres par demi-fût et les entretiens ont été réalisés à la demande. L'analyse des données a été réalisée à l'aide du logiciel STATITCF pour le calcul des moyennes, l'analyse des variances et la comparaison des moyennes et les figures avec le logiciel EXCEL.

L'analyse de variance des différents paramètres observés a décelé des différences significatives pour certains paramètres étudiés. Cela montre que les cinq (5) variétés étudiées présentent des variabilités phénotypiques. Cela permettra leur criblage en fonction des zones agroclimatiques du Mali.

L'analyse de variance des variétés au 90^{ème} JAS a décelé une différence significative entre les variétés. Elle a permis de déceler quatre groupes homogènes. La variété Reyna 28 a eu la plus grande hauteur au 90^{ème} jour, soit 70,76 cm et Tétra a eu la plus petite hauteur qui est de 63,66 cm (Figure 1). Pour le nombre de talles l'analyse a décelé une différence significative entre les variétés. Elle a permis de déceler trois groupes homogènes. Les variétés Goumaria et Reyna 28 ont eu le plus grand nombre de talles 60 et la variété Tétra a eu le plus petit nombre

de talles 17 (Figure 2). Ainsi les variétés Goumaria et Reyna 28 peuvent être utilisées pour la production de fourrage. Quant au nombre de feuilles enroulées les résultats de l'analyse montrent que certaines variétés présentent plus de feuilles enroulées que d'autres. Cela permet d'économiser plus d'eau dans leurs tissus pendant les périodes de sécheresse. C'est un indice très important pour la caractérisation des variétés à la sécheresse. Le nombre de feuilles enroulées varie de 4 pour la variété Tetra à 14 pour Goumaria (Figure 3). Concernant le poids de 1000 graines l'analyse de variance a décelé une différence significative entre les variétés. Elle a permis de déceler deux groupes homogènes. La variété Reyna 28 a eu un poids de 1000 grains plus élevé soit 26,176 g et les autres sont identiques qui est de 20,486g (Figure 4). Enfin pour le délai 50 % floraison femelle et le rendement, l'analyse de variance n'a pas montré de différence significative entre les cinq variétés étudiées bien que les rendements varient entre 4,68 t/ha pour la variété Tetra et 7,62 t/ha pour la variété Reyna 28. Cela montre que les variétés se sont bien comportées dans les conditions de culture en zone soudano-sahélienne du Mali et par conséquent peuvent contribuer à assurer la sécurité alimentaire au Mali et procurer aux producteurs de blé des sources de revenus substantiels.

Mots clés : Adaptation, variétés de blé (*Triticum Sp*), zone soudano-sahélienne du Mali.

I. INTRODUCTION

L'activité économique du Mali est dominée par le secteur primaire (agriculture, élevage, pêche, etc...). Ce dernier représente 44% du PIB et emploie 83.4% des actifs occupés. La contribution du secteur agricole à la stabilité économique et sociale du pays est par conséquent capitale tant au niveau de la génération d'emplois et d'activités génératrices de revenus qu'à celui de la sécurité alimentaire et de l'amélioration du cadre de vie des populations (PNSA, 2011).

Introduite à l'occasion des échanges avec l'Afrique du Nord, la culture du blé et sa consommation constituent une tradition séculaire dans le mode de vie économique et sociale des populations du nord du Mali, notamment dans la région de Tombouctou. 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 (Koné, 2004). Le blé est la plus importante des cultures vivrières. Le grain renferme beaucoup de protéines (12 à 14 % en moyenne) et possède de bonnes qualités meunières et boulangères (Smirnov et al. 1977). Les graines sont utilisées dans l'alimentation humaine ; elles sont essentiellement transformées en farine (blé tendre) et en semoule (blé dur). Les germes servent à fabriquer des farines alimentaires, des produits de régime et des produits pharmaceutiques. Ils possèdent une forte proportion de matières grasses (12,5%), et de vitamines, les sons et les déchets servent à la confection d'aliments du bétail. Le Mali dispose de plusieurs atouts en matière de la culture de blé (Touré, 2000 cité par CRRRA-Gao, 2008) potentiel en terre irrigable dans la région nord, le climat, l'existence d'un marché potentiel à travers les Grands Moulins du Mali, etc. Cependant la production nationale du blé demeure faible. La faible production du blé au Mali peut s'expliquer par le faible niveau des techniques culturales qui de nos jours sont jugées traditionnelles, la faible productivité du matériel végétal et enfin le manque de moyens adéquats

(semoir, batteuse, matériel de traitement phytosanitaire, etc). Les besoins nationaux en farine sont estimés à 65251 tonnes en 2003, 76275 tonnes en 2004, 88051 tonnes en 2005 et 100000 tonnes en 2006 ; soit une progression annuelle environ de 10% (DNCC, 2007).

Le rendement optimum au Mali estimé à 4 t/ha de blé en culture irriguée demeure insuffisant en raison de l'inexistence de variétés très performantes, de semences améliorées, l'insuffisance de la fertilisation (normes d'intrants recommandées non respectées), des itinéraires techniques non maîtrisés. (Koné, 2004).

La nécessité de 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. Les études diagnostiques des contraintes phytosanitaires du blé dans la zone d'intervention du PACCEM (Programme d'Appui à la Commercialisation des Céréales au Mali) ont montré que le bas rendement des variétés est imputable à la dégénérescence des semences et à la faible productivité des variétés vulgarisées (Goita, 2003). Cette contrainte a été également identifiée par la CRU des trois régions nord du Mali comme prioritaire à la production du blé. La présente étude a pour objectif de contribuer à l'amélioration de la production et la productivité du blé au Mali d'une part et d'autre part à la recherche des possibilités d'intensification de la culture du blé en zone soudano-sahélienne du Mali par la caractérisation et l'adaptation de cinq (5) variétés de blé (*Triticum Sp*) en zone soudano-sahélienne du Mali. Les conditions climatiques jugées favorables enregistrées lors de l'essai de décembre 2014 à mars 2015 ont permis d'avoir des résultats très appréciables. Les températures basses (nocturnes et diurnes) ont joué beaucoup sur les paramètres morphologiques et agronomiques du blé. L'essai a été réalisé suivant un dispositif en bloc de Fisher à deux (02) répétitions. Les semis ont été réalisés dans dix demi-fûts d'une surface moyenne de 2550,46 cm² contenant un mélange de terreau et de terre (1:1). Le volume du

substrat est 83 910,134 cm³. Chaque variété occupait deux demi-fûts. Le semis a été effectué le 25 décembre 2014. Les arrosages avaient lieu tous les matins et soirs à raison de trois (3) litres par demi-fût et les entretiens ont été réalisés à la demande. Les observations ont porté sur les différents paramètres agronomiques et morphologiques. L'analyse des données a été réalisée à l'aide du logiciel **STATITCF** pour le calcul des moyennes, l'analyse des variances et la comparaison des moyennes et les figures avec le logiciel **EXCEL**.

L'analyse de variance des différents paramètres a décelé des différences significatives pour tous les paramètres étudiés à l'exception du délai 50% floraison et du rendement. Cela prouve que les cinq (5) variétés étudiées présentent des variabilités phénotypiques dans les conditions de culture en zone soudano-sahélienne du Mali. L'analyse de variance du rendement n'a pas montré de différence significative entre les cinq variétés étudiées bien qu'il varie entre 4,68 t/ha pour la variété Tetra et 7,62 t/ha pour la variété Reyna 28. Cela montre que les variétés se sont bien comportées dans les conditions de culture en zone soudano-sahélienne du Mali et par conséquent peuvent contribuer à assurer la sécurité alimentaire au mali et procurer aux producteurs de blé des sources de revenus substantiels.

II. OBJECTIF

Objectif général

Contribuer à l'amélioration de la production et la productivité du blé au Mali.

Objectifs spécifiques

- Déterminer les paramètres agro-morphologiques de cinq variétés de blé ;
- Déterminer la variété la plus résistante à la sécheresse ;
- Déterminer la variété la plus productive ;
- Déterminer la variété la plus adaptée en zone soudano-sahélienne du Mali.

III. MATERIEL ET METHODES

Matériel

Matériels techniques : balance électrique, 10 demi fûts, brouette, pelle mètre ruban.

Matériel végétal : Le matériel végétal est constitué de cinq (5) variétés de blé (*Triticum Sp*) qui sont : Goumaria ; Reyna 29 ; Humbara ; Reyna 28 et Tétra.

Méthodes

Site de l'étude : En milieu semi-contrôlé dans des demi-fûts. Le substrat est constitué d'un mélange de sable et de terreau dont le rapport est de 1:1.

Dispositif expérimental : Bloc de Fisher à deux répétitions.

L'essai se compose de 10 demi-fûts avec une surface moyenne de 2550, 46 cm² et un volume moyen de 105589,044cm³. Le volume du substrat par fût est de 83910,134 cm³. Chaque deux demi-fûts comportent une variété.

Facteur étudié : Un seul facteur a fait l'objet d'étude, il s'agit de la variété prise à 5 niveaux (Goumaria ; Reyna 29 ; Humbara ; Reyna 28 ; Tétra).

Les traitements au nombre dix (10) correspondent à la combinaison des 5 variétés et des 2 blocs.

Remplissage des fûts : Terreau plus sable avec un rapport de 1:1.

Semis dans les demi-fûts: il a été effectué manuellement le 25 décembre 2014 à raison de 5 graines par poquet, soient 13 poquets par demi-fût.

Epandage d'engrais: Un total de 4,5 g pour chaque demi-fût comprenant le complexe-céréales (17-17-17) à la dose de 100 kg /ha apporté au 30^{ème} jour après le semis, soit 2,5g par fût et l'urée à la dose de 80 kg/ha, soit 2,0 g par demi-fût.

IV. OBSERVATIONS ET MESURES

Les observations agronomiques et morphologiques ont été réalisées sur 6 plants par variété choisis au hasard à raison de trois (3) plants par fût) et elles ont porté sur les paramètres suivants:

- Hauteur des plants à la récolte au 90^{ème} jour après semis;
- Nombre de talles ;
- Nombre de feuilles enroulées ;
- Délai 50 % floraison femelle ;
- Poids de 1000 grains ;
- Rendement grain.

V. ANALYSE DES DONNEES

Le logiciel **STATITCF** a été utilisé pour l'analyse des variances le calcul des moyennes, la comparaison des moyennes et les représentations graphiques à l'aide du logiciel **EXCEL**.

RESULTATS OBTENUS

L'analyse de variance de la hauteur des variétés au 90^{ème} JAS a décelé une différence significative entre les variétés. Elle a permis de déceler quatre groupes homogènes (Figure 1). La variété Reyna 28 a eu la plus grande hauteur au 90^{ème} jour soit 70,76 cm et Tétra a eu la plus petite hauteur qui est de 63,66 cm.

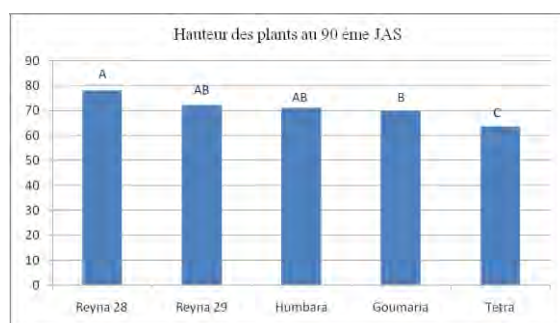


Figure 1 : Hauteur des plants au 90^{ème} JAS

L'analyse de variance des variétés pour le nombre de talles a décelé une différence significative entre les variétés (Figure 2). Elle a permis de déceler trois groupes homogènes. Les variétés Goumaria et Reyna 28 ont eu le plus grand nombre de talles soient 60 et la variété Tétr a eu le plus petit nombre de talles qui est de 17.

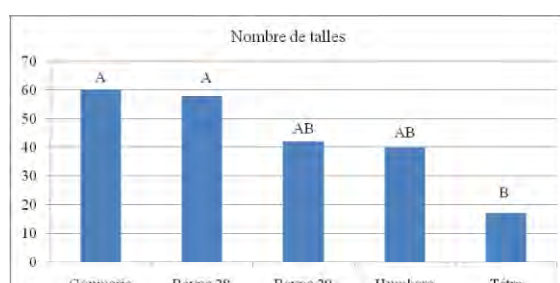


Figure 2 : Evolution du nombre de talles

Les résultats montrent que certaines variétés présentent plus de feuilles enroulées que d'autres. Cela permet d'économiser plus d'eau dans leurs tissus pendant les périodes de sécheresse. C'est un indice très important pour la caractérisation des variétés à la sécheresse. Le nombre de feuilles enroulées varie de 4 pour la variété Tetra à 14 pour Goumaria (Figure 3).

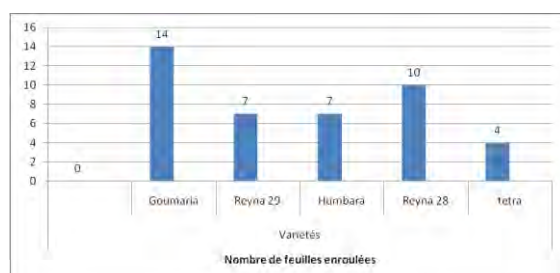


Figure 3 : Nombre de feuilles enroulées

L'analyse de variance des variétés du poids de 1000 grains a décelé une différence significative entre les variétés. Elle a permis de déceler deux groupes homogènes (Figure 4). La variété Reyna 28 a eu un poids de 1000 grains plus élevé soit 26,176 g et les autres variétés ont un poids de mille graines identique qui est de 20,486 g.

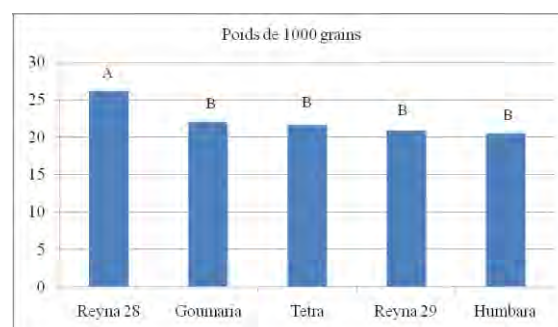


Figure 4 : Poids de mille graines (PMG)

Les résultats montrent que la variété Tetra a un délai 50% floraison plus court qui est de 54 jours. Elle est suivie par Reyna 28, après Goumaria ensuite Reyna 29 et enfin Humbara a un délai 50% floraison plus long soit 72 jours (Figure 5).

L'analyse de variance du rendement a montré qu'il n'y a pas de différence significative entre les variétés.

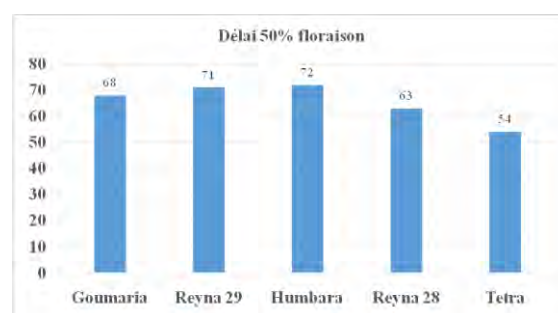


Figure 5 : Délai 50 % floraison

Cependant la variété Reyna 28 à un rendement plus élevé il est de : 7,62 tonnes/ha elle est suivie de Goumaria, Humbara, puis Reyna 29 et enfin la variété Tetra a le plus faible rendement de 4,68 tonnes/ha (Figure 6).

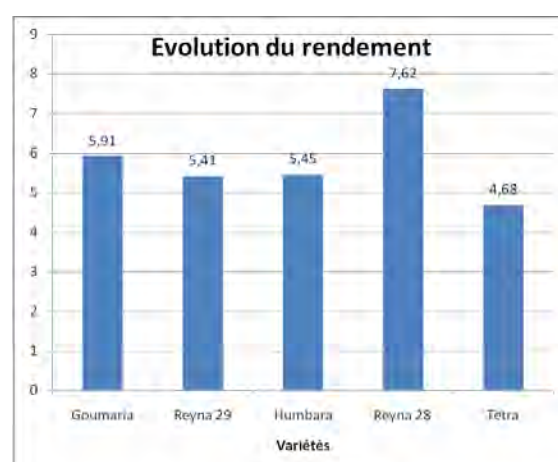


Figure 6 : Evolution du rendement des variétés de blé

V. CONCLUSION ET SUGGESTIONS

Les conditions climatiques favorables enregistrées lors de l'essai de décembre 2014 à mars 2015 ont permis d'avoir des résultats très appréciables. Les températures basses constatées (nocturnes et diurnes) ont joué beaucoup sur les paramètres morphologiques et agronomiques du blé.

L'essai a été réalisé suivant un dispositif en bloc de Fisher à deux (02) répétitions. Les semis ont été réalisés dans dix demi-fûts d'une surface moyenne de 2550,46 cm² contenant un mélange de terreau et de terre dont le rapport est : (1:1). Le volume du substrat est 83 910,134 cm³.

Chaque variété occupait deux demi-fûts. Le semis a été effectué le 25 décembre 2014. Les arrosages avaient lieu tous les matin et soir à raison de trois (3) litres par demi-fût et les entretiens ont été réalisés à la demande. Les observations ont porté sur les différents paramètres agronomiques et morphologiques. L'analyse des données a été réalisée à l'aide du logiciel **STATITCF** pour le calcul des moyennes, l'analyse des variances et la comparaison des moyennes et les figures avec le logiciel EXCEL.

L'analyse de variance des différents paramètres a décelé des différences significatives pour certains paramètres étudiés. Cela montre que les cinq (5) variétés étudiées présentent des variabilités phénotypiques dans les conditions de culture en zone soudano-sahélienne du Mali. L'analyse de la variance des variétés pour le nombre de talles a décelé une différence significative entre les variétés. Elle a permis de déceler trois groupes homogènes. Les variétés Goumaria et Reyna 28 ont eu le plus grand nombre de talles (60) et la variété Tétra a eu le plus petit nombre de talles (17). Pour le nombre de feuilles enroulées les résultats de l'analyse montrent que certaines variétés présentent plus de feuilles enroulées que d'autres. Cela permet d'économiser plus d'eau dans leurs tissus pendant les périodes de sécheresse. C'est un indice très important pour la caractérisation des variétés à la sécheresse. Le nombre de feuilles enroulées varie de 4 pour la variété Tetra à 14 pour Goumaria (Figure 3). Quant à la hauteur des plants l'analyse de la variance des variétés au 90^{ème} JAS a décelé une différence significative entre les variétés. Elle a permis de déceler quatre groupes homogènes. La variété Reyna 28 a eu la plus grande hauteur au 90^{ème} jour soit 70,76

cm et Tétra a eu la plus petite hauteur qui est de 63,66 cm. Concernant le poids de 1000 graines l'analyse de variance a décelé une différence significative entre les variétés. Elle a permis de déceler deux groupes homogènes. La variété Reyna 28 a eu un poids de 1000 grains plus élevé soit 26,176 g et les autres sont identiques qui est de 20,486 g. Quant au délai 50 % floraison femelle et le rendement, l'analyse de variance n'a pas montré de différence significative entre les cinq variétés étudiées bien que les rendements varient entre 4,68 t/ha pour la variété Tetra et 7,62 t/ha pour la variété Reyna 28, ce résultat est supérieur à la moyenne nationale qui est de 4t/ha en culture irriguée.

REFERENCES

- [1] Dembélé J, 2014. Mémoire de fin de cycle, Gestion intégrée des engrais minéraux et des résidus de récolte dans un système de riz-riz blé en zone sahélienne du Sénégal, 50 p.
- [2] DNCC, 2007, statistique des importations de la farine au Mali, 35 p.
- [3] FAO STAT division de la statistique 6 mars 2015.
- [4] GOITA O, 2003. Diagnostic des contraintes phytosanitaires du blé dans la zone d'intervention du PACCM Dire, 41 p.
- [5] Koné, 2004, Plan stratégique de développement de la filière blé au Mali et son plan d'action, 48 p.
- [6] Morifing Koné, 2004, Etat des lieux de la filière blé au Mali (rapport synthèse de la revue documentaire), 18 p.
- [7] PACCM, 2006. Bilan de campagne 1999-2006 de l'organisation des producteurs de blé du projet d'appui à la commercialisation des céréales au Mali, 25 p ;
- [8] Programme National de Sécurité Alimentaire (PNSA) 2011, rapport général, 42 p.
- [9] Togola, A. 2013. Cours de phytotechnie spéciale, 154 P
- [10] Touré, 2000. Bilan de trente ans de recherche sur le blé au Mali, 59 p.

Effect of Sterilization and Duration of Induction on *in Vitro* Plant Regeneration from Unpollinated Ovaries of *Allium chinense*

BAH Amadou APHO^{1*}, Diallo YACOUBA¹, Drissa COULIBALY², Imran haider SHAMSI³

1.* Department of Science and Agricultural Technique at Rural Polytechnic Institute, Katibougou; Department of horticulture, College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University

Department of Science and Agricultural Technique at Rural Polytechnic Institute, Katibougou

Department of Animal Science at Rural Polytechnic Institute, Katibougou

Department of Agronomy, Institute of Crop Science, College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University

Corresponding author: aphobah@yahoo.fr

Abstract- The present work was conducted to develop a simple protocol for shoot regeneration of jiaotou (*Allium chinense*) using ovaries as explant sources. In this experiment, we observed that disinfection using 75 % ethanol for 30 s and 0.1% HgCl₂ for 15 min gave the highest percent of non-contaminated explants (75.03%), while 75 % ethanol for 30 s and 10 % NaClO for 20 min and 75% ethanol for 5 min resulted in a decreasing rate of non-contaminated explants, respectively 60.72% and 22.44% (Fig 1.)

Extracted ovaries showed the earliest signs of organogenesis after 2 weeks of culture on induction media. Shoot appeared on the globular structures in the following weeks. These explants exhibited 56.32% organogenic response. However, induction duration of 1 and 3 weeks showed a significantly lower response with a percentage of 36.53% and 16.34% respectively (Fig 2).

Keywords *Allium chinense*, tissue culture, ovary, decontaminators

I. INTRODUCTION

Chinese jiaotou, (*Allium chinense* G. Don), a perennial plant belonging to the family Alliaceae, has been cultivated and consumed as a vegetable for its pickled bulbs (Chen 1989). Because of its phytochemical composition, it is also used as a traditional medicine to enhance physical and mental health (Kameoka et al. 1984; Kuroda et al. 1995; Peng et al. 1996). *A. chinense* is commonly propagated by bulb division although it usually flowers under natural conditions. The high sterility and dysfunction cause jiaotou floral abortion, and fail to set seed (Du et al. 1993, Brewster 1994).

Tissue culture is usually seen as an alternative for vegetative propagation in plants. Although different parts can be used as the initial explants for plantlet regeneration, flower/ovary explants are advantageous as they do not require the sacrifice of the mother plant. Therefore, use of flower/ovary explant does not have any adverse impact on plant, especially as they are aborted naturally (Brewster 1994). In addition, the unpollinated flower/ovary is also good explant for *in vitro* induction of haploid plants, which are of significant interest for breeders (Chen et al. 2011).

For obtaining cultures free of microbial contamination, sterilization of explants is the most important step that is also the critical stage in the introduction of plants to tissue culture. In spite of the surface sterilization process carried out for explants

before culture, microbial growth inside the plant cannot be eliminated (Hennerty et al, 1988), particularly when explants are excised from field grown plants (Savela and Uosukainen, 1994) and transferred to *in vitro* culture. Therefore, it is essential that the surface of the explants is sterilized to remove microbial contamination.

VI. MATERIALS AND METHODS

2.1 Plant material

The flower buds of *A. chinense* at the mature stage but before anthesis (anther dehiscence) were collected from Experiment Station of Zhejiang University.

2.2 Cultural conditions

2.2.1 Sterilization

Three different disinfectants (75% ethanol, 10% NaClO and 0.1% HgCl₂) were used to optimize the best protocol for flower sterilization of jiaotou. Three treatments were used as follows:

T1-flower buds were immersed in 75% ethanol for 5 min,

T2-flower buds were immersed in 75% ethanol for 30 s, followed by soaking in 0.1% HgCl₂ for 15 min,

T3-flower buds were immersed in 75% ethanol for 30 s, followed by soaking in 10% NaClO for 20 min.

After sterilization treatment, the explants were rinsed in sterilized distilled water (three to five times) to remove the disinfectants. All steps of the sterilization were done under aseptic conditions within a Laminar flow hood. Minimum 60 explants were used for each treatment and all the treatments were repeated thrice. After 1 week the percentage of non-contaminated explants was recorded.

2.2.2 Inoculation

Explants were inoculated on MS (Murashige and Skoog, 1962) medium supplemented with 30 g/l sucrose and 5 g/l agar in 9-cm petri dishes. Media were adjusted to pH 5.8, and sterilized by autoclaving at 120°C for 20 min. All cultures were maintained at 25±2°C under a photosynthetic photon flux density (PPFD) of 45 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ provided by 40 watts fluorescent tubes with a photoperiod 16h and 65% relative humidity.

After 3 days, ovaries were extracted under aseptic conditions and were subcultured on induction media in Petri dishes for 1, 2 and 3 weeks, respectively. The induction medium consisted of B5 medium (Gamborg et al. 1968) supplemented with 2 mg/l dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D), 2 mg/l benzylaminopurine (BA), 50 g/l sucrose and 5g/l

agar (Sigma. Minimum 50 explants were used for each treatment and all the treatments were repeated twice.

2- STATISTICAL ANALYSIS

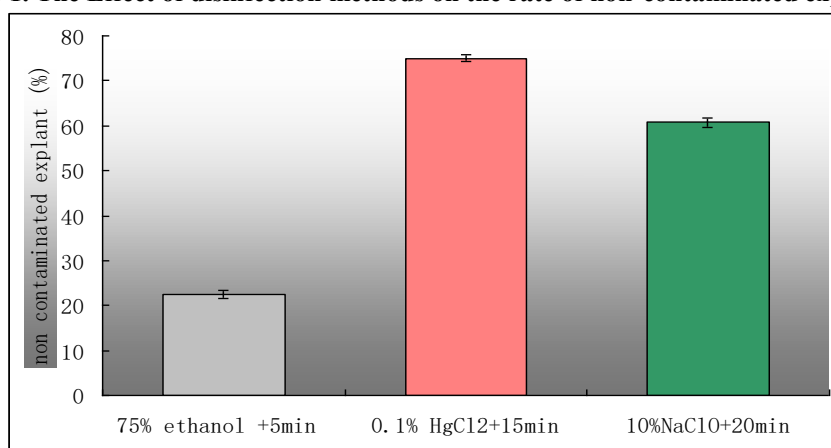
Results were analyzed statistically using the DPS software (Tang and Feng, 1997). The mean values were calculated and were compared by Duncan's multiple range tests ($P \leq 0.05$).

VII. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1 Effect of sterilization

In this study, we observed that disinfection using 75 % ethanol for 30 s and 0.1% HgCl_2 for 15 min gave the highest percent of non-contaminated explants (75.03%), while 75 % ethanol for 30 s and 10 % NaClO for 20 min and 75% ethanol for 5 min resulted in a decreasing rate of non-contaminated explants, respectively 60.72% and 22.44% (Fig 1). Thus the treatment of 75 % ethanol for 30 s and 0.1% HgCl_2 for 15 min for sterilization was the most efficient and used in the following experiments.

Fig. 1. The Effect of disinfection methods on the rate of non-contaminated explants

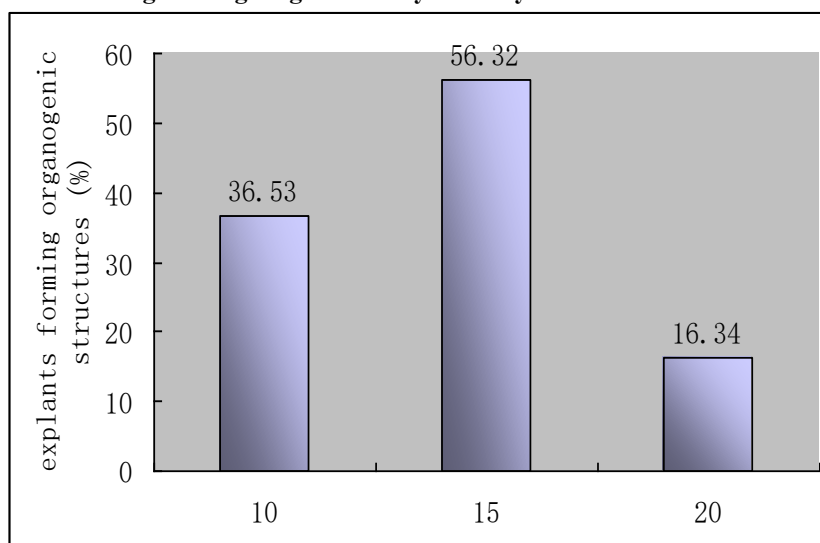


The rate of non-contaminated explants after 7 days of culture. Values represent the average of three replicates. Vertical bars indicate the standard deviation

3.2 Effect of duration of induction on organogenic response of ovaries

In this experiment, the percentage of organogenic ovaries was influenced by the duration of induction. Five days after culture initiation, the ovaries began swelling; callus formed and shoots emerged directly at the base of the ovaries cultured. Extracted ovaries showed the earliest signs of organogenesis after 2 weeks of culture on induction media. Shoot appeared on the globular structures in the following weeks. These explants exhibited 56.32% organogenic response. However, induction duration of 1 and 3 weeks showed a significantly lower response with a percentage of 36.53% and

16.34% respectively (Fig2). Therefore ovaries following 2 weeks of culture on induction media were the best explants for differentiating organogenic structures. Our above results were in contrast to reports by Luthar and Bohanec (1999), who suggested that ovaries at 6 days on induction medium were optimal for onion. In this study, we observed that shorter (1 week) and especially longer (3 weeks) induction showed an inhibitory effect on shoot formation in jiaotou. The inhibition caused by prolonged induction may have been a consequence of the relatively high 2,4-D content in the induction media (Luthar and Bohanec 1999). Also it was suggested that, to avoid somaclonal variations caused by prolonged culturing on 2,4-D containing media, callus phase on culture should be limited.

Fig: 2. Effect of duration stage on organogenic ability of ovary

Ovaries were extracted under aseptic conditions within a Laminar flow hood and were subcultured in Petri dishes on induction media for 1, 2, 3 weeks. Data were collected after 1, 2, and 3 weeks of culture. The values represent the average of three replicates

VIII. CONCLUSION

On the basis of protocols developed on other *Allium* species with special reference to onion (Luthar and Bohanec 1999), attempts to induce organogenesis in jiaotou were successful. The protocol used in the present study differs to some extent from that used in onion. The use of B5 medium as a substitute of BDS for induction, agar as a substitute of gellan gum to solidify the medium and a longer induction treatment (15 days instead of 6 days) being the main differences. In the major features the responses were similar to that achieved in onion in regard to multiple induced organogenic structures.

The efficiency of jiaotou organogenesis was influenced by the duration of induction stage. Ovaries maintained 2 weeks on induction medium, appeared to be more responsive. For 20 days induction we obtained relatively less response. The low rate of organogenesis due to prolonged duration, may be a result of the high level of 2,4-D.

To optimize the rate of contamination in tissue, the most important step is the sterilization of explants. In *Allium chinense* ovary culture, we suggest the use of 0.1% of HgCl₂ instead of NaClO or ethanol.

Acknowledgements

This work was supported by a grant (No. 200618) from the Rural Development Administration, Republic of Korea.

REFERENCES

Brewster JL, Onions and other vegetable Alliums, CABI, 1994.

Chen JF (1989) Introduction to *Allium chinense*. China Veg 4: 47-49

Chen JF, Cui L, Malik AA, Mbira KG. *In vitro* haploid and dihaploid production via unfertilized ovule culture. Plant Cell Tiss Organ Cult (2011) 104: 311-319

Du WF, Xiong JQ, Xu X (1993) Studies on karyotypes of four Chinese scallions (*Allium chinensis* G. Don). J Wuhan Bot Res 11:199-203

Gamborg O, Miller R, Ojima K (1968) Nutrient requirements of suspension cultures of soybean root cells. Exp Cell Res 50: 151-158

Hennerty MJ, Upton ME, Harris DP, Eaton RA, James DJ (1988) Microbial contamination of *in vitro* cultures of apple rootstocks M26 and M9. Acta Hort 225:129-137

Kameoka H, Iida H, Hashimoto S (1984) Sulphides and furanones from steam volatile oils of *Allium fistulosum* and *Allium chinense*. Phytochemistry 23: 155-158

Kuroda M, Mimaki Y, Kameyama A, Sashida Y, Nikaido T (1995) Steroidal saponins from *Allium chinense* and their inhibitory activities on cyclic AMP phosphodiesterase and Na⁺/K⁺ ATPase. Phytochemistry 40: 1071-1076.

Luthar Z, Bohanec B (1999) Induction of direct somatic organogenesis in onion (*Allium cepa* L.) using a two-step flower or ovary culture. Plant Cell Rep 18: 797-802

Murashige T, Skoog F (1962) A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Physiol Plant 15: 473-497

Peng JP, Yao XS, Tezuka Y (1996) Furostanol glycosides from bulbs of *Allium chinense*. *Phytochemistry* 41:283-285

Savela ML, Uosukainen M (1994) Characterization of bacteria contaminating tissue cultures of apple rootstock 'YP'. *J App Bacteriol* 76: 368-376.

Tang, QY. Feng, M.G., 1997. *Practical Statistics and DPS Data Processing System*. China Agric. Press, Beijing.

ENVIRONNEMENT-EAU

Études préliminaires de décoloration des effluents de teinturerie artisanale à Dianéguela (Commune VI du District de Bamako)

NIAKATE M. R.^{1*}, KEITA K.¹, SAMAKE D.², CISSE A. S.¹, THOMAS F.³

¹Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Environnement (LSTE), Université des Sciences des Techniques et des Technologies des Bamako

²Laboratoire de Chimie Appliquée (LCA) Université des Sciences des Techniques et des Technologies des Bamako

³Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux (LIEC), Université de Lorraine

*Adresse e-mail du correspondant: mamourachelniakate@yahoo.fr

RESUME : Bamako, capitale de la teinture artisanale en Afrique de l'Ouest regorge d'ateliers où plusieurs dizaines de mètres de tissus sont teints chaque année. C'est une activité qui contribue au maintien d'un style vestimentaire propre aux sahéliens ^[1]. En effet, elle génère une grande diversité de produits chimiques difficilement biodégradables ^[2]. Cependant le développement anarchique de cette activité à Dianéguela, pollue les sols, l'ensemble des ressources en eau. En effet, leur présence dans les systèmes aquatiques réduit la pénétration de la lumière et retarde l'activité photosynthétique ^[3].

L'objectif de cette étude est de trouver un système de traitement efficace afin de décolorer les effluents de teinturerie artisanale à Dianéguela.

Des prélèvements d'eaux usées ont été effectués dans le bassin de collecte où toutes les eaux usées (bain de teinture et les eaux de rinçage) sont déversées.

L'étude a porté sur décantation de l'effluent suivie d'une analyse granulométrique et des essais de traitement avec l'acide chlorhydrique, la poudre de *moringa oleifera* seul puis associée au sulfate d'aluminium.

Il ressort que le *moringa oleifera* utilisé pour la déstabilisation des suspensions colloïdales est efficace mais son association avec le sulfate d'aluminium fait considérablement baisser la turbidité (64,3 à 9,89 NTU).

Mots clés : décoloration, turbidité, effluents de teinturerie, *moringa oleifera*, Dianéguela

I. INTRODUCTION

Le Mali est aujourd'hui, réputé de par le monde comme la patrie du bazin ^[4]. Cette image est incontestablement soutenue et confortée par la doigtée dont font preuve ces milliers de femmes qui exercent comme activité principale la teinture artisanale. Et le bazin malien fait partie des sources de fierté nationale pour les maliens

Si la teinture à la maliennes a une bonne renommée, même au-delà des frontières, et que la demande est très forte, puis que le créneau est porteur, force est de reconnaître que la teinture peut aussi être nuisible à l'environnement à cause des rejets d'eaux usées chargées de substances chimiques^[1]. Cette activité qui se développe de façon anarchique à Dianéguela, comme partout ailleurs, pollue considérablement les sols et l'ensemble des ressources en eau locale et du fleuve Niger, qui fournit l'eau potable à plus de 2/3 de la population de la capitale ^[5]. Elle occupe une frange importante des femmes et la quasi-totalité des rues du quartier dispose d'une ou deux teintureries malgré l'interdiction par les autorités ainsi que la construction d'un centre de teinturerie par l'UNESCO en association avec l'Union Européenne (projet d'appui aux teintureries et à la sauvegarde du fleuve Niger).

Ces produits ont des impacts aussi bien au niveau environnemental (pollution des sols, des eaux et notamment du fleuve Niger), sociétal (pollution des

puits voisins rendant l'eau impropre à la consommation) et médical (risque pour les teintureries qui n'adoptent pas les moyens de protection nécessaire). Ces effluents constituent donc une menace pour la santé humaine et pour l'environnement. Par conséquent, la dépollution des eaux contaminées par ces composés chimiques s'avère nécessaire aussi bien pour la protection de l'environnement que pour une éventuelle réutilisation de ces eaux-conventionnelles.

Des études ont été menées au Mali pour le traitement de ces effluents, notamment les dispositifs de prétraitement sur la colonne de sable, ces mêmes méthodes ont été reprises par Gary Lepinay (2008) ^[4], la méthode de traitement par coagulation floculation (Keita, 2009) ^[6].

Les résultats de ces études, fournis durant cette dernière décennie se sont révélés inefficaces et ont permis de montrer la complexité de traitement de ces effluents.

L'évacuation non contrôlée de ces eaux usées à l'aide de système de prétraitement non opérationnel, aboutit à la pollution des eaux de surface.

Dans le souci de minimiser l'impact de cette pollution sur l'environnement, nous nous sommes intéressés à l'élimination des colorants dans les effluents de teinture artisanale.

Le traitement de ces effluents a fait l'objet de plusieurs études afin de les décolorer, nous avons

effectué la simple décantation, la granulométrie, des essais de coagulation-floculation-décantation avec HCl, le *moringa oleifera* seul en raison de sa biodégradabilité puis nous l'avons associé avec le sulfate d'aluminium.

II. MATERIELS ET METHODES

2.1 Matériels

- pH mètre de marque pH M 210
- Turbidimètre de laboratoire modèle HACH 2100N
- Balance analytique (METTLER TALEDO AE 200)
- Jar-test (JL T6 Leaching test VELP SCIENTIFICA)
- Granulomètre laser helos

2.2 Méthode expérimentale

A l'aide du jar-test, nous avons effectué les essais de coagulation-floculation-décantation.

L'opération s'effectue de la manière suivante : dans une série de bécher d'un litre contenant l'effluent de teinturerie dilué au 1/10, on introduit la poudre de la graine de *moringa oleifera* à des doses croissantes pendant une courte période d'agitation (2mn) à une vitesse d'agitation rapide (150 tours par mn) permettant d'assurer une très bonne diffusion des adjuvants et une bonne déstabilisation chimique des colloïdes. On agite moyennement (50 tours par mn) durant 15 mn, afin de favoriser la mise en contact par des particules. Une agitation lente (10 tours par mn) pendant 30 mn pour éviter de briser les flocs formés et favoriser le grossissement des flocs. Les effluents sont ensuite mis au repos pendant 1 heure. Après ce temps de décantation, les surnageants sont prélevés à l'aide d'une seringue pour les différentes analyses. Le même procédé est utilisé pour le mélange *moringa oleifera* et le sulfate d'aluminium.

2.1 Présentation du centre de teinturerie de Dianéguela

Le site se trouve dans le quartier de Dianéguela, en Commune VI de Bamako (rive droite).

Il est situé à environ 1 km à vol d'oiseau du fleuve. En aval de la confluence entre celui-ci et le marigot traversant le quartier se trouve une station de pompage pour l'eau potable.



Photo1: Cartographie de Bamako

2.4 Echantillonnage

L'échantillonnage a été effectué au centre de teinturerie de Dianéguela entre 14heures et 15 heures, période de pleine activité.

L'effluent est prélevé dans le bassin de collecte du centre de teinturerie où toutes les eaux usées (bain de teinture ainsi les eaux de rinçage) sont déversées.



Photo 2 : Bassin de collecte du centre de teinturerie

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Test sur la décantation de l'effluent

Afin d'examiner l'influence du temps de décantation en fonction de la turbidité, des mesures ont été effectuées sur l'effluent dilué au 1/10.

Tableau 1: Valeurs des turbidités après décantation de l'effluent en fonction du temps

Temps (mn)	Turbidité (NTU)
0	65
1	64
5	63
10	63
15	62,9
20	62
30	62
40	62
50	62
60	60
120	59,7
180	59
1444	56,4

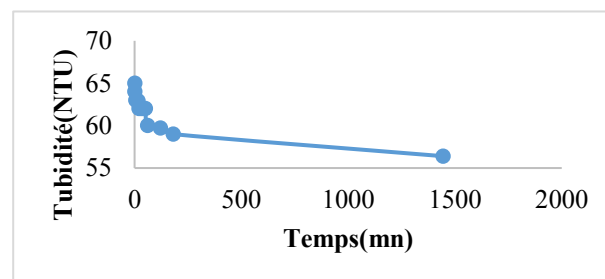


Figure1: Variation de la turbidité de l'effluent dilué (1/10) en fonction du temps (mn)

La turbidité de l'effluent dilué (1/10) diminue légèrement de 65 à 59 NTU au bout de 2 heures de

décantation avec un pH 11,61. Elle continue de diminuer et reste constante à 56,4 NTU après 24 heures de repos (tableau 1, figure1).

La baisse de la turbidité peut être due à la décantation des grosses particules. Cela nous amène à faire des tests de granulométrie pour connaître la taille des particules en suspension.

3.2 Résultat de l'Analyse granulométrique

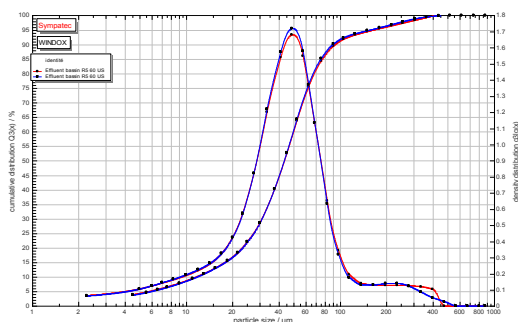


Figure2: courbe granulométrique de l'effluent de teinture

La courbe granulométrique de l'effluent dilué (1/10) montre une distribution de taille des particules étalée entre 2,2 et 500 µm, avec un maximum autour de 50 µm. La taille médiane ou D50, exprimant la taille pour laquelle 50% des particules sont inférieures ou supérieures à cette taille, est ici de 43 µm. Une proportion de 80% des particules sont inférieures à 65 µm.

La légère baisse de la turbidité est due aux particules de plus grande taille. Cependant elle reste très élevée ce qui prouve que la décantation seule ne suffit pour décolorer cet effluent, d'où la nécessité de faire un traitement de coagulation.

3.3 Essai de coagulation avec le HCl

Des essais ont été effectués avec HCl dans le but de faire la différence entre le rôle des répulsions électrostatiques, neutralisées ici par le proton, et le rôle des ponts interparticulaires créés par les coagulants.

Tableau 2: Résultat de l'essai de coagulation avec l'acide chlorhydrique

HCl, (ml)	Turbidité, (NTU)	pH
0	65	11,61
0,2	73,8	9,42
0,24	74,2	7,8
0,4	74,8	7,38
0,5	75,7	7,1
0,6	75,7	6,92
0,7	75,7	6,6

1	76,9	6,54
1,4	>DL	3,21
1,6	>DL	2,80
2	>DL	2,33

L'ajout progressif de la solution de HCl augmente la turbidité de 65 à 76,9 dès une dose de 1mL. Le pH baisse de 11,61 à 6,54 (tableau 2). La turbidité a brutalement augmenté et dépasse la limite de détection (DL) de l'appareil après l'ajout de 1,4 mL pendant que le pH chute de 3 unités.

Les protons H^+ libérés par dissociation de HCl baissent considérablement le pH mais ils n'ont aucun effet sur l'abatement de la turbidité, comme on pouvait le supposer suite à la protonation des charges négatives de surface sur les colloïdes. Bien au contraire, tout se passe comme si les ions Cl^- libérés provoquent une dispersion des colloïdes par ajout de charges négatives. Cet essai montre la nécessité d'utiliser des coagulants qui, non seulement neutralisent les charges de surface des colloïdes, mais aussi établissent des ponts entre les particules en suspension en formant des agrégats suffisamment gros et denses qui sédimentent rapidement. Suite à la coagulation avec HCl, des essais de coagulation ont été effectués avec le *moringa oleifera* seul et ensuite associé à la solution de sulfate d'aluminium de concentration 1mol/L.

3.4 Coagulation avec la poudre de *moringa oleifera*



Photo 3 : Effluent de teinturerie traité avec la poudre de moringa

Tableau 3: Essai de coagulation avec la poudre de *moringa oleifera*

Moringa (g/L)	Turbidité(NTU)	pH
0	65	11,23
10	351	10,66
20	371	10,17
30	604	9,69
40	30,1	9,11
50	32,5	8,68
60	54,6	8,4

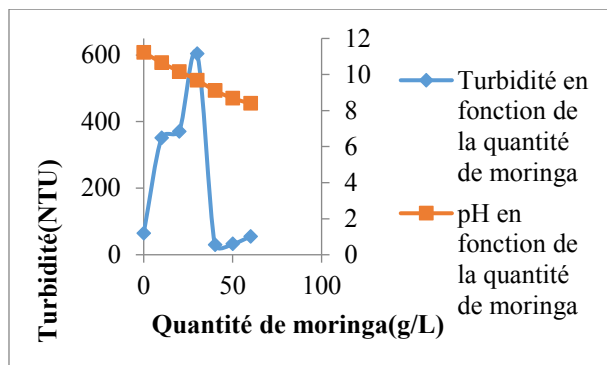


Figure3: Variation de la turbidité en fonction de la quantité de *moringa oleifera*

L'ajout croissant de la poudre de graine de moringa fait augmenter la turbidité de 65 à 640 NTU pendant que le pH diminue de 11,23 à 9,69 (tableau3, figure3). La dose optimale est atteinte avec de 40g/L de poudre de moringa pour une turbidité 30,1NTU à pH 9,11. Après cette dose une ré-augmentation de la turbidité est observée (de 30,1 à 54,6NTU).

La poudre de moringa n'abaisse pas considérablement le pH. Il est resté autour de 8,4 après l'ajout de 60g/L.

Nous remarquons une couche de matière grasse à la surface de l'effluent après décantation, ce peut rendre moins efficace le traitement.

C'est pourquoi la plus faible valeur de la turbidité (30,1NTU) est supérieure aux normes maliennes. Ce qui prouve que le traitement de l'effluent de teinturerie avec le moringa seul ne suffit pas. Cela nous a amené à associer le sulfate d'aluminium.

3.5 Coagulation avec la poudre de *moringa oleifera* associée au sulfate d'aluminium

Dans ce traitement nous avons maintenu constante la quantité de moringa et faire varier la dose de $Al_2(SO_4)_3$



Tableau3 : Résultat de l'essai de coagulation avec la poudre plus le sulfate d'aluminium

Moringa + $Al_2(SO_4)_3$ en g/L	Turbidité(NTU)	pH
0	65	11,23
1,2	14,5	7
2,4	9,89	5,2
3	21,3	4,8
3,6	30,6	4,6
4,7	35,6	4,2

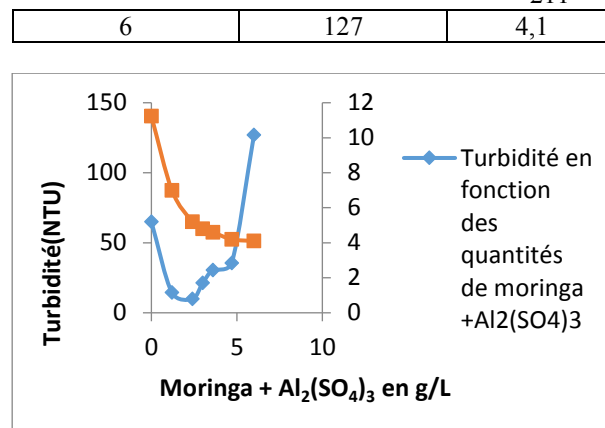


Figure 4 : Variation de la turbidité en fonction de la quantité de *moringa oleifera* et de $Al_2(SO_4)_3$

L'ajout croissant du $Al_2(SO_4)_3$ a considérablement fait changer les valeurs des paramètres étudiés.

Comparativement aux résultats précédents nous observons une large baisse de la turbidité (65 à 9,86NTU) pour une dose de 2,4g/L de $Al_2(SO_4)_3$ (tableau3, figure4). Après cette dose la turbidité augmente (de 9,86 à 127 NTU) avec 6g/L de $Al_2(SO_4)_3$.

La dose optimale de *moringa observée* avec le mélange est plus faible 20g que quand il est utilisé seul (40g).

Le sulfate d'aluminium aussi fait baisser le pH jusqu'à 4,1. Cette chute peut être attribuée à la consommation d'ions OH^- par l' Al^{3+} pour former les espèces hydrolysées.

Le pH optimal (5,2), inférieur aux normes de rejet du Mali.

IV. CONCLUSION

La décoloration des effluents de teinturerie artisanale par coagulation-floculation-décantation est efficace car nous avons observé une réduction aussi bien de la couleur que les matières en suspension.

Dans cette première étude les résultats nous ont montré que la décantation simple ne suffit. Cela a été prouvé par l'analyse car 50% des particules ont une taille inférieure à 43 μm .

Ainsi la baisse du pH de l'effluent avec HCl ne décolore pas non plus cet effluent.

La turbidité a été considérée comme indicateur de performance des coagulants

Les doses optimales des coagulants sont de:

- 40g/L de poudre de *moringa oleifera* pour 30,1NTU;
- 20 g/L de poudre de *moringa oleifera*+2g/L de $Al_2(SO_4)_3$ pour 9,89 NTU

Les valeurs du pH qui donnent une bonne qualité d'eau traitée sont de:

- 9,11pour *moringa oleifera*.
- 5,2 pour l'association *moringa oleifera* + $Al_2(SO_4)_3$

Une augmentation de la turbidité est observée dès l'ajout du coagulant, puis en se rapprochant de la

dose optimale, elle chute rapidement pour atteindre sa plus faible valeur. Pour des doses supérieures à la dose optimale nous observons une augmentation de la turbidité qui correspond à la restabilisation de la suspension, faisant ainsi disperser certaines quantités de colorants retenues par les sédiments en solution. La coagulation génère une quantité très élevée des boues.

REFERENCES

- [1] UNESCO, 2010, projet de réalisation d'un centre de teinturerie à Dianéguela en commune VI du district de Bamako.
- [2] Samiha Hammami, 2008, Etude de dégradation des colorants textile par les procédés d'oxydation avancée. Application à la dépollution des rejets industriels.
- [3] Larsson Hanna, 2009, Textile dyeing in Mali: possibilities for small scale effluent treatment, Second Cycle, A2E.Uppsala.
- [4] Lepinay Gary, 2008, Proposition d'un système de prétraitement des effluents de teinture à Bamako(Mali)
- [5] Maiga, 2012, Analyse des externalités négatives du développement urbain de Bamako et pollution du fleuve Niger. Thèse pour le doctorat de géographie, Option Environnement.
- [6] Keita Kalifa, 2008: Appui de la FAST dans les procédés de prétraitement des eaux usées de teinturerie à Bamako (Projet Niger/Loire : Gouvernance et Culture).

Evaluation de la charge parasitaire des légumes issus des sites de grande production maraichère du Mali

Sanata TRAORE^{1*}, Fassé SAMAKE¹, Amadou Hamadoun BABANA¹, Mamadou W. BAGAYOKO¹

¹Laboratoire de Recherche en Microbiologie et Biotechnologie Microbienne, FST, USTTB Bamako

*Email de correspondance : sanatatraore21@yahoo.fr

RESUME : Les légumes frais constituent une partie importante d'un régime alimentaire sain. Consommés crus, ils peuvent être des agents de transmission de parasites intestinaux. La fréquence et la variabilité des parasites sur 96 légumes produits dans les sites de grande production maraichère du Mali ont été évaluées. Ces sites sont : Bamako, Kati, Baguineda, Samako, Sikasso et Niono. L'évaluation de la charge parasitaire a été faite en utilisant la méthode d'Uga et al. (2009), qui consistait à rechercher les œufs et kystes de parasites dans 100g de laitue, de tomate et de concombre. Nous avons obtenu une contamination de 20,83% de l'ensemble des légumes par les parasites. 41,66% de laitue, 16,66% de tomate et 0% de concombre contenaient des parasites. Les parasites retrouvés sur les légumes étaient composés de 24,19% d'*Entamoeba coli* ; 24,19% de *Trichomonas intestinalis* ; 12,9% de *Giardia intestinalis* ; 11,29% de *Balantidium coli* ; 7,26% de *Entamoeba histolytica* ; 3,23% de *Douve* ; 1,61% de *Trichine*, 1,04% d'œuf de *Ankylostome duodenal* et 1,04% de *Schistosoma intercalatum*. La fréquence des parasites de laitue était de 83,33% pour Bamako ; 83,33% pour Niono ; 50% pour Kati ; 16,66% pour Baguineda, 16,66% pour Samanko et 0% pour Sikasso. La consommation des légumes contaminés par les parasites peut causer un risque sanitaire pour des consommateurs de ces produits.

Mots-clés : charge parasitaire, laitue, tomate, concombre, risque sanitaire.

I. INTRODUCTION

Les légumes crus sont une excellente source de vitamines, de fibres alimentaires et de minéraux ; leur consommation régulière est associée à un risque réduit de maladies cardio-vasculaires, d'accidents vasculaires cérébraux et certains cancers (Duyn et Pivonka, 2000).

Malgré l'importance et l'augmentation accrue de la consommation des légumes, leur production est confrontée à certaines contraintes notamment la faible disponibilité des terres cultivables dans la zone urbaine et périurbaine de Bamako et l'utilisation de l'eau de qualité douteuse destinée à l'arrosage de nos légumes ainsi que l'utilisation des fumures organiques non conventionnelles pour la production (Zallé, 1997). L'accumulation des parasites dans les sols et les eaux laissent craindre une contamination de la chaîne alimentaire. En Afrique de l'Ouest, de nombreuses études ont montré des niveaux de contamination élevés par des germes pathogènes contenus dans les eaux d'irrigation et des légumes à la fois à la ferme et au marché (Cissé, 1997; Olayemi, 1997; Armar-Klemsu et al. 1998; Niang, 1999; Faruqi et al., 2004; Amoah et al., 2005, 2006, 2014) qui dépassent de loin les normes de l'International Commission on Microbial Specification for Food (ICMSF, 1974). Cependant, dans les pays en voie de développement aux mauvaises conditions sanitaires et une plus grande gamme de facteurs de risques, de nombreuses épidémies d'infections alimentaires liées probablement aux légumes passent inaperçues (Beuchat, 1998). Les avantages de la réutilisation d'eaux usées sont principalement d'ordre économique pour les producteurs, car plusieurs études recensent une augmentation des rendements

(Faruqi et al., 2004 ; Niang, 1999) et des coûts de productions diminués en épargnant des fertilisants. Gaye et Niang (2010) ont retrouvé des larves de *Anguillule* (0,0015 par gramme), les œufs d'*Ascaris* (0,03 par gramme), les trophozoïtes de *Trichomonas intestinalis* (quantité élevée par gramme), et les œufs de *Ankylostome* (0,0064 par gramme) dans la laitue, la tomate et le concombre. La transmission des helminthes et autres pathogènes du tube digestif est liée à la consommation de légumes crus exposés aux eaux usées (Blumenthal et al., 2000). Une étude réalisée par Samaké et al. (2011) sur les légumes principalement la tomate et la laitue a montré un nombre assez élevé de contaminants microbiologiques et chimiques dans les eaux utilisées par les maraîchers et sur les produits maraîchers dans la zone périurbaine de Bamako. Tarchouna (2008) et Mastro (2009) ont montré que l'irrigation de longue durée avec des eaux usées induit des changements des propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols, présentant un risque potentiel de contamination des légumes. Aucune étude n'a été faite au Mali pour déterminer la qualité parasitaire des légumes. Sanata et al., (2013) ont montré la limite (réduction de 90% de bactéries) des traitements proposés par les services techniques au Mali. Amoah et al. (2014) ont démontré la présence des bactéries pathogènes, des parasites, des métaux lourds et de résidus de pesticides dans les fruits et légumes. Chau et al. (2014) ont trouvé des oeufs de *Fasciola* (83.33%), d'*Ascaris* (85.19%) and de *Trichuris* (64.81%) dans les légumes. Les œufs de *Clonorchis sinensis* ont été aussi détectés avec une fréquence de 16.67% ; les oocystes de protozoaire de *Cryptosporidium*, *Isospora* et *Cyclospora*. Abougrain et al. (2009) ont

obtenu dans 126 échantillons, 58% d'œuf d'helminthe de *Giardia spp.*. Les laitues consommées crues, arrosées avec des eaux usées non traitées peuvent entraîner la transmission d'infections bactériennes et parasitaires à nématodes (OMS, 1989). Des études plus approfondies visant à la détermination de la qualité parasitaire des légumes au Mali est nécessaire afin d'évaluer le risque sanitaire lié à leur consommation.

La présente étude a pour but de déterminer les contaminants parasitaires de la laitue, du concombre et de la tomate issus des sites de grande production maraîchère du Mali, en vue d'évaluer le risque sanitaire lié à leur consommation.

II. MATERIEL ET METHODES

Les échantillons de laitues, de tomate et de concombre ont été prélevés sur leurs sites de production, de différentes zones urbaines et périurbaines du Mali. Le prélèvement s'est fait de façon aléatoire. Six échantillons de laitue, de tomate et de concombre ont été prélevés par site, pour l'ensemble des sites retenus pour l'étude. Ces sites sont : Bamako, Baguineda, Kati, Niono, Samanko et Sikasso. Ces sites ont été choisis en fonction de leur accessibilité et la présence des maraîchers en activité. Trente pieds de laitue, trente tomates et dix concombres sont prélevés dans différentes parcelles, mis dans un sachet en plastique stérile. Les différents échantillons prélevés et soigneusement étiquetés ont été placés dans une glacière contenant de la glace et ensuite transportés au laboratoire. Pour les différentes analyses au laboratoire, chaque lot d'échantillon a été soigneusement découpé à l'aide des ciseaux stériles et mélangé pour avoir un échantillon composite.

L'analyse parasitaire a été faite selon la méthode d'Uga et al. (2009). L'analyse parasitaire des échantillons de laitue, du concombre et de la tomate a consisté à rechercher et à dénombrer les œufs et kystes de parasites. Chaque échantillon de légume frais a été lavé (100 g) dans des sacs en plastique stériles avec une solution saline physiologique (0,85% de NaCl). L'eau de lavage a été laissée pendant 10 h en sédimentation, puis la couche supérieure a été écartée et l'eau de lavage restant a été centrifugée à 2164 g pendant 15 min. Le surnageant a été éliminé, le résidu soigneusement recueilli et examiné dans le lugol (pour chaque échantillon) par microscopie optique. Les kystes et œufs de parasites trouvés au microscope optique.

III. RESULTATS

Charge parasitaire par site et par spéculation

La charge parasitaire de la laitue, de la tomate et du concombre a été déterminée dans les sites de grande production maraîchère du Mali.

Nous avons constaté une contamination des légumes par des parasites à Bamako, Baguineda, Kati, Samanko et Niono. Aucun parasite n'a été retrouvé dans les légumes à Sikasso. Nous avons remarqué une contamination de 20,83% de l'ensemble des échantillons de légumes. Parmi les spéculations, la

laitue apparaît la plus contaminée avec un taux de 41,66%, ensuite la tomate (16,66%) et enfin le concombre (0%). Parmi les sites, les laitues de Bamako et de Niono ont la concentration la plus élevée avec un taux de 83,33% (Figure 1).

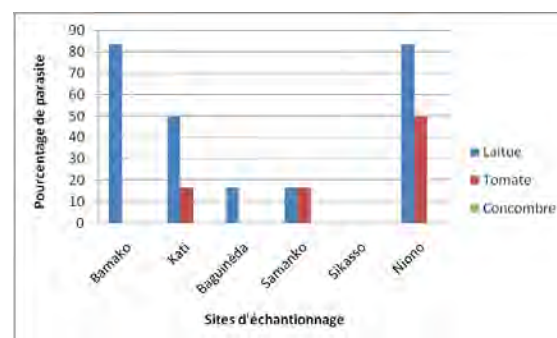


Figure 1 : Fréquence de parasite par site en fonction des spéculations

Type de parasite en fonction des sites et des spéculations

Nous constatons une contamination de la laitue et de la tomate par des parasites à Bamako, Baguineda, Kati, Samanko et Niono. Aucun parasite n'a été retrouvé sur les concombres sur l'ensemble des sites. Parmi les parasites, *Entamoeba Coli* et *Trichomonas intestinalis* ont les taux les plus élevés avec 24,19% chacun. Ceux-ci sont suivis par *Giardia intestinalis* (12,9%), *Balantidium coli* (11,29%), *Entamoeba histolitica* (7,26%), la Douve (3,23%), la *Trichine* (1,61%), *Ankylostoma duodenal* (0,81%) et *Schistosoma intercalatum* (0,81%). Ceux-ci sont illustrés dans la figure 2.

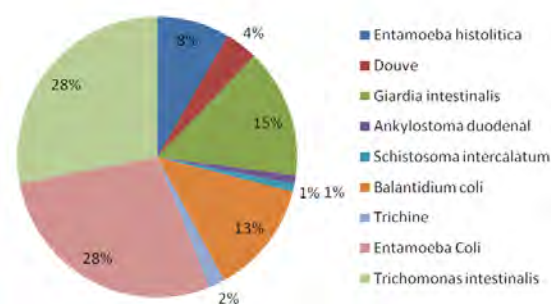


Figure 2 : Fréquence de parasite dans les légumes

IV. DISCUSSION

La consommation de légumes crus joue un rôle important dans la transmission des contaminations parasitaires (Anuar et al., 1977). Les légumes sont une voie importante de transmission des parasites intestinaux et ont été montrés comme une source importante d'épidémies d'origine alimentaire dans les pays en voie de développement (Pires et al., 2012).

Cette contamination a eu lieu avant la récolte, par le fumier contaminé, le compost de fumier, les boues d'épuration, l'eau d'irrigation ou l'eau de ruissellement provenant des exploitations d'élevage

ou directement à partir d'animaux sauvages et domestiques.

Il y a une concentration anormalement élevée des parasites dans les légumes issus des sites de grande production maraîchère du Mali. L'analyse de ces légumes nous a montré la présence de 24,19% d'*Entamoeba Coli*, 24,19% de *Trichomonas intestinalis*, 12,9% de *Giardia intestinalis*, 11,29% de *Balantidium coli* 7,26% d'*Entamoeba histolitica*, 3,23% de Douve, 1,61% de *Trichine*. Les œufs d'*Ankylostome duodenal* (1,04%) et de *Schistosoma intercalatum* (1,04%) étaient relativement faible.

De trois types de légumes examinés, la laitue est le légume le plus infecté par les parasites avec un taux de 41,66%, suivie par la tomate (16,66%) et le concombre (0%). Nos résultats concordent avec ceux de Gaye et Niang (2010), qui ont retrouvé des larves d'*Anguillule* (0,0015 par gramme), les œufs d'*Ascaris* (0,03 par gramme), les trophozoïtes de *Trichomonas intestinalis* (beaucoup par gramme), et les œufs d'ankylostome (0,0064 par gramme) dans la laitue, la tomate et le concombre.

Chau et al. (2014) qui ont trouvé des parasites différents des nôtres. Ce sont, entre autres des œufs de *Fasciola* (83.33%), d'*Ascaris* (85.19%) et de *Trichuris* (64.81%), les œufs de *Clonorchis sinensis* (16.67%) ; les oocystes de protozoaire de *Cryptosporidium*, d'*Isospora* et de *Cyclospora* dans les légumes. Aussi, Amoah et al. (2014) ont eu des œufs d'*Ascaris lumbricoides*, d'*Hymenolepis diminuta*, de *Trichuris trichiura*, de *Fasciola hepatica* et des larves de *Strongyloides* dans les échantillons de laitue. Leurs résultats et les nôtres sont similaires du point de vue présence des parasites. Mais quant à la spécificité des parasites, ils sont différents.

Nous avons obtenu une contamination de 20,83% des légumes par les parasites sur 96 échantillons examinés. Ceux-ci sont en accord avec ceux d'Abougrain et al. (2009) qui ont obtenu que dans 126 échantillons, 58% contenaient des œufs d'helminthe et des kystes des *Giardia spp.* Il ya eu un maximum de parasites dans les laitues de Bamako (83,33%) et de Niono (83,33%) par rapport aux autres sites. Ce pourcentage à Bamako s'explique par le fait de la réduction de plus en plus des terres cultivables à Bamako et de l'accroissement de la demande des légumes, les maraîchers utilisent les eaux de mauvaises qualités et des compostes non conventionnels pour leur production (Zallé et al., 1997).

Plusieurs facteurs ont contribué à augmenter en fréquence et des flambées de nombreuses maladies d'origine alimentaire associées aux fruits et légumes crus. Une forte incidence des parasites intestinaux humains ont été trouvés dans les communautés qui consomment des légumes crus, en particulier lorsque les légumes sont cultivés sur des terres agricoles fertilisées avec des eaux usées non traitées humaine et animale (Simoes et al., 2001). La situation de la contamination des légumes par des parasites dans d'autres pays ont également été signalés, par exemple

en Iran (Gharavi et al., 2002), le Nigeria (Idahosa et al., 2011), Semnan (Nazemi et al., 2012), l'Égypte (Saïd, 2012), le Ghana (Amoah et al., 2007 ; 2014) et les Philippines (Sia et al., 2012). Quand aux raisons, les légumes ont été probablement contaminés par les engrais (Uga et al., 2009; Kłapeć et al., 2012), la source des eaux usées (Vuong et al., 2007, Keraita et al., 2014), le sol (Kłapeć et al., 2012).

Les différences observées dans les taux des différents parasites intestinaux pathogènes de légumes frais déclarés dans le présent ouvrage et ceux rapportés par d'autres auteurs sont attendues. Plusieurs facteurs peuvent contribuer à de telles différences. Ceux-ci peuvent inclure, entre autres l'utilisation de fournitures non traitées d'eaux usées et de l'eau contaminée avec les eaux usées, le fumier comme engrais pour la production de cultures, l'irrigation et diverses pratiques agronomiques, les méthodes utilisées pour la détection des parasites intestinaux, le type et le nombre d'échantillons examinés (Amoah et al., 2005).

V. CONCLUSION

Les légumes cultivés au Mali contiennent une concentration non négligeable de parasites avec une proportion de 20,83%. Les spéculations étaient contaminées par les parasites avec 41,66% de laitue, 16,66% de tomate et 0% de concombre. Parmi les parasites, nous avons eu 24,19% d'*Entamoeba coli*; 24,19% de *Trichomonas intestinalis*; 12,9% de *Giardia intestinalis*; 11,29% de *Balantidium coli*; 7,26% d'*Entamoeba histolitica*; 3,23% de Douve; 1,61% de *Trichine*; 1,04% d'œufs d'*Ankylostome duodenal* et 1,04% de *Schistosoma intercalatum*.

La concentration de parasite est plus élevée à Bamako et à Niono par rapport aux autres sites.

La contamination des légumes frais produits au Mali par des parasites intestinaux pathogènes peut constituer un risque pour la santé de la population. Les autorités sanitaires et environnementales locales devraient éduquer le public sur les dangers pour la santé de légumes frais et l'importance de les laver et les désinfecter avant consommation. En outre, un traitement adéquat des eaux usées et l'interdiction de l'utilisation des eaux usées non traitées pour l'irrigation des plantes destinées à la consommation humaine, entre autres, devraient être mis en œuvre. Bref, il est donc nécessaire d'améliorer les conditions sanitaires de ces types d'aliments.

REFERENCES

- [1] Abougrain A. K., Nahaisi M.H., Madi N.S., Saïed M.M., Ghenghesh K.S. (2009). Parasitological contamination in salad vegetables in Tripoli-Libya. Contents lists available at ScienceDirect. journal homepage: www.elsevier.com/locate/foodcont.
- [2] Amoah P. (2004). Irrigated urban vegetable production in Ghana: Sources of pathogen

- contamination and risk elimination. P.54:49-61. pp.11.
- [3] Amoah P., Drechsel P. & Abaidoo RC. (2005). Irrigated urban vegetable production in Ghana: sources of pathogen contamination and health risk elimination. *Irrigation and Drainage* 54: 49–61.
- [4] Amoah P., Drechsel P., Abaidoo RC. & Ntow WJ. (2006). Pesticide and pathogen contamination of vegetables in Ghana's urban markets. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 50, 1–6.
- [5] Amoah P., Drechsel P., Abaidoo RC., and 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, S40-S50.
- [6] Keraita B., Silverman A., Amoah P. and Senorpe A-H (2014). Quality of Irrigation Water Used for Urban Vegetable Production. Characteristics, Benefits and Risk Mitigation. Second edition 249:89-103, pp15.
- [7] Anuar A.K, Ramachandran CP (1977). A study on the prevalence of soil transmitted helminthes among lettuce leaves sold in local markets in Penang, Malaysia. *Med J Malaysia* 31: 262-265.
- [8] Beuchat L.R. (1998). Surface Decontamination of Fruits and Vegetables Eaten Raw: A Review. Food Safety Issues. WHO/FSF/FOS/98.2. Food Safety Unit. WHO. pp.42.
- [9] Blumenthal U.J., Peasey A., Ruiz-Palacios G. & Mara DD. (2000). Guidelines for Wastewater Reuse in Agriculture and Aquaculture: Recommended Revisions Based on New Research Evidence (Well Study Task No: 68 Part 1). Water and Environmental Health at London and Loughborough. London School of Hygiene and Tropical Medicine. London. pp. 13.
- [10] Cisse G. (1997). Impact sanitaire de l'utilisation d'eaux polluées en agriculture urbaine. Le cas du maraîchage à Ouagadougou. Thèse de doctorat. EPFL. Lausanne. pp. 267.
- [11] Faruqui, N. I., S. Niang, et al. (2004). Untreated Wastewater Use in Market Gardens: A Case Study of Dakar, Senegal. Wastewater Use in Irrigated agriculture. Confronting the livelihood and environmental realities. R.-S. L. CABI Publishing: 127-134.
- [12] Faruqui N.I., Niang S. & Redwood M. (2004). Untreated wastewater use in market gardens; a case study of Dakar, Senegal. In: Wastewater Use in Irrigated Agriculture: Confronting the Livelihood and Environmental Realities (eds CScott, NIFaruqui & LRaschid) IWMI-IDRC-CABI, Wallingford. pp. 113–125.
- [13] Gharavi, M.J., Jahani, M.R., Rokni, M.B. (2002). Parasitic contamination of vegetables from farms and markets in Tehran, *Iranian Journal of Public Health*, 31. 83-86.
- [14] Idahosa, O.T. (2011). Parasitic contamination of fresh vegetables sold in Jos markets. *Global Journal of Medical Research*. 11(1). pp 20-25.
- [15] International commission on Microbiological Specifications for Food (ICMSF) (1974). Microorganisms in foods 1. Sampling for microbiological analysis: Principles and specific Applications. The University of Toronto Press. Toronto. pp. 504.
- [16] Amoah P., Lente I., Senorpe A-H and Robert Abaidoo C. (2014). Quality of Vegetables in Ghanaian Urban Farms and Markets. Irrigated Urban Vegetable Production in Ghana. Characteristics, Benefits and Risk Mitigation. Second edition 249:89-103. pp15.
- [17] Kłapeć T., Borecka A.(2012). Contamination of vegetables. fruits and soil with geohelminths eggs con organic farm in Poland", *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*. 19 (3). 421-425.
- [18] Gaye M. et Niang S. (2010). Manuel des bonnes pratiques de l'utilisation des eaux usées dans l'agriculture urbaine. FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture) à travers le projet GCP/SEN/061/SPA. ENDA RUP (Relais pour le Développement Urbain Populaire), Dakar, 2010. Email : rup@enda.sn - Site web : www.enda.sn/rup
- [19] Nazemi A., Raei, M., Amiri M., Chaman R. (2012). Parasitic contamination of raw vegetables in Shahroud, Semnan, Zahedan, *Journal of Research in Medical Sciences*. 14(8). 84-86.
- [20] Niang S. (1999). Utilisation des eaux usées brutes dans l'agriculture urbaine au Sénégal: bilan et perspectives. In: Agriculture Urbaine en Afrique de l'Ouest (ed OSmith) IDRC Books. Ottawa. pp. 101–115.
- [21] Olayemi A.B. (1997). Microbiological hazards associated with agricultural utilization of urban polluted river water. *International Journal of Environmental Health Research* 7. 49–154.
- [22] Organisation Mondiale de la Santé (OMS). (2005). Environnement et santé. IFMT-MS-Santé. Publ.2006. Simoes, M., Pisani, B., Margues, EGL., Prandi, MAG., Martini, MH and Chiarini, PFT. Hygienic-sanitary condition of vegetables and irrigation water from kitchen gardens in the municipality of

- Campinas, SP. Brazilian Journal of Microbiology. 32: 331- 333.
- [23] Said S., D.E. (2012). Detection of parasites in commonly consumed raw vegetables. *Alexandria Journal of Medicine*. 48. 345-352.
- [24] Sia Su, G.L., Mariano, C.M.R., Matti, N.S.A., Ramos, G.B. (2012). Assessing parasitic infestation of vegetables in selected market in Metro Manila, Philippines. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*. pp 51-54.
- [25] Traoré S., Samaké F., Babana A.H., Traoré D., Y. Sanogo, Maiga K. (2013). Evaluation of the effectiveness of bleach on microbial population of lettuce. *Scientific Journal of Microbiology* 2 (9) 166-173. ISSN 2322-2948. doi: 10.14196 / sjm.v2i9.950. www.Sjournals.com.
- [26] Uga, S., Hoa, N.T.V., Noda, S., Moji, K., Cong, L., Aoki, Y., Rai, S.K., Fujimaki, Y. (2009). Parasite egg contamination of vegetables from a suburban market in Hanoi, Vietnam. *Nepal Medical College Journal*, 11(2). 75-78.
- [27] Duyn V. MA, Pivonka E. (2000). Overview of the health benefits of fruit and vegetable consumption for the dietetics professional: selected literature. *J Am Diet Assoc*. 100(12):1511–21.
- [28] Vuong, T.A., Nguyen, T.T., Klank, L.T., Phung, D.C., Dalsgaard, A. (2007). Faecal and protozoan parasite contamination of water spinach (*Ipomoea aquatica*) cultivated in urban wastewater in Phnom Penh, Cambodia. *Tropical Medicine & International Health*. 12(Suppl 2). 73-81.
- [29] Zallé D. (1997). Le maraîchage intra-urbain à Bamako. Thèse doctorat. Isfra, univ. du Mali. Bamako. pp318.

Étude comparative du traitement des eaux usées domestiques par les filtres plantés de macrophytes : *Typha sp* et *Vetiveria Zizanoides*

Kalifa KEITA ^{1*}; Drissa SAMAKE ¹, Gérard MERLIN ², Satinder KAUR BRAR ³ ; Brahim B. TRAORE ¹,
Abdoulaye Salim CISSE ¹

¹ Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako

² Université de Savoie-Polytech-Annecy-Chambéry Le Bourget du Lac France

³ INRS-ÉTÉ, Québec

*Adresse e-mail du correspondant: Kalifa.keita@usttb.edu.ml

RESUME : Cette étude a porté sur la comparaison de deux macrophytes : le *typha sp* et le *vetiveria zizanoïdes* dans le traitement des effluents domestiques de la Faculté des Sciences et Techniques. Les essais de traitement ont été réalisés dans trois bassins : un de *typha sp*, un de *vetiveria zizanoïdes* et un témoin. L'alimentation en eau usée des bassins a été faite en semi continu et sous surface. Cette méthode d'alimentation a été utilisée car elle limite la prolifération de larves de moustiques, aussi elle n'utilise pas de produits chimiques. Les paramètres ont été mesurés avant et après traitement. Les prélèvements ont lieu une fois par mois de juin 2013 à avril 2015. Le traitement par les essences locales a conduit à un assez bon rendement épuratoire : MES allant jusqu'à 89,9 %, pour le typha et 90,5 % pour le vétiver ; DBO₅ 72,4% pour le *typha sp* contre 53,4% pour le vétiver ; et respectivement 76,4% et 53,4% de DCO pour le typha et le vétiver. Le typha est le mieux indiqué à cause de son efficacité pour la diminution des charges polluantes par rapport au vétiver.

Mots clés : eaux usées ; domestique ; traitement ; filtres plantés ; macrophytes.

I. INTRODUCTION

Malgré les efforts consentis dans la réalisation de systèmes d'épuration classiques (boues activés, lits bactériens), les eaux usées résiduaires constituent toujours une menace pour l'environnement et les populations de nos pays. En effet, les systèmes de traitement classiques des eaux usées rejetées mis en place sont inadaptés à cause de leur complexité et de leur coût d'exploitation et d'entretien élevé. C'est ainsi que 76% des systèmes classiques dysfonctionnent en Afrique francophone ^[1]. Des études réalisées dans le monde ont permis de prouver l'efficacité d'autres systèmes de traitement des eaux usées résiduaires ^[2]. En Afrique (Kenya, Maroc, Ouganda et Tanzanie), les marais artificiels ont été utilisés dans le traitement des eaux usées municipales ^[3,4,5].

Les marais artificiels sont des systèmes épuratoires permettant une reconstitution contrôlée des phénomènes d'auto-épuration naturelle : l'épuration résiduaire consiste à éliminer les éléments solides maintenus en suspension, et à réaliser l'épuration biologique de l'eau en éliminant la pollution organique. Des micro-organismes sont capables de transformer des molécules organiques ou minérales de manière naturelle pour leur propre métabolisme. La technologie des filtres plantés de macrophytes pour le traitement des eaux usées des collectivités (eaux usées domestiques) est une technique qui a vu son développement s'accroître depuis 1997. Elle est

une application des marais artificiels, à la différence qu'ici les filtres sont plantés dans le sable et le gravier. Les quenouilles et vétivers, de part leur système racinaire, ainsi que le substrat de sable et gravier créent un milieu favorable à l'activité biologique et au développement des micro-organismes épurateurs. Cela permet d'augmenter la vitesse de réaction compatible avec les fortes charges polluantes arrivant au système.

Les filtres plantés de macrophytes à écoulement horizontal constituent une composante, permettant de réduire les risques environnementaux par une forte réduction des nuisances (bruits, odeurs), de dégagement de méthane, la prolifération de moustiques et un bon abattement bactériologique. ^[6]

Par ailleurs, l'utilisation de végétaux locaux (macrophytes) a un intérêt économique pour ces systèmes ce qui les rend plus captivants car ils peuvent s'autofinancer ^[7,8]. D'où, l'utilisation de la quenouille (*Typha sp.*) et du vétiver (*Vetiveria zizanoïdes*) des espèces présentes dans nos zones humides.

II. MATERIEL ET METHODES

2.1 Présentation du site d'installation du pilote de traitement par les macrophytes

La zone d'étude est la Faculté des Sciences et Techniques (FST) de l'Université des Sciences et Techniques et des Technologies de Bamako

(USTTB). Elle est située sur la colline de Badalabougou. Cette faculté abrite un des logements des étudiants des universités du Mali. La population produisant ce déversement d'eaux usées domestiques est environ 1000 étudiants soit plus de 50 m³ d'eau usée par jour. Le point de prélèvement est géo-référencié par GPS, dont les coordonnées sont 12°37'57" Nord, 07°58'55,9" Ouest à 320 m d'altitude.

2.2 Description du pilote de traitement

Un pilote expérimental a été mis au point en prélude à un projet de traitement des eaux usées du campus de la FST avant leur rejet dans le fleuve. Il comprend trois bassins (ouvrages maçonnés) de 1 m² de surface et 0,70 m de hauteur (figure 1). Ces bassins prototypes sont approvisionnés en eaux usées à partir d'un bac de collecte muni d'un système répartiteur.

Les bassins sont remplis de sable et de graviers (diamètre variant entre 1 et 3 mm). Des graviers non concassés ronds ou des galets sont placés à l'entrée et à la sortie des bassins pour éviter les écoulements préférentiels au besoin, cette couche pourrait aussi être séparée du sable par une autre moins grossière. L'écoulement se fait horizontalement et le niveau de l'eau est maintenu à 2 cm en dessous de la hauteur supérieure du support granulaire de gravier ou de sable. L'alimentation journalière des bassins est de 191,7 L en régime discontinu (milieu moins humide) de 20 minutes par bassin pour chaque séquence de 1 heure. Pour obtenir une efficacité d'écoulement, l'architecture de filtre est celle du modèle issu des travaux de [9]. Les espèces macrophytes constituées d'essences locales (*typha sp* et *Vetiveria zizanoides*) ont été récoltées dans les cours d'eau du District de Bamako et environs. Le gravier et le sable, extraits du fleuve Niger, sont lavés et calibrés avant le garnissage des différents bassins. Les expériences ont lieu dans les conditions naturelles: température ambiante, pas d'addition de produits chimiques. Quant à la densité des plantes, nous avons effectué un ensemencement correct en macrophytes de deux bassins, le troisième non planté est le témoin.

2.3 Dimensions des bassins

Trois bassins en béton de mêmes dimensions longueur 183,5 cm, largeur 88 cm, hauteur 90 cm ont été confectionnés et garnis de la même qualité et des mêmes quantités de graviers et de sable.

Au contour extérieur, nous avons obtenu les valeurs suivantes :

Ainsi la surface et le volume moyen des bassins sont respectivement :

- $S = L \times l$ soit $S = 1,635 \times 0,68 = 1,1118 \text{ m}^2$
- En partant du fait que le niveau de l'eau dans le bassin est par exemple à 2 cm en dessous, il est préférable de raisonner à partir du volume utile ou de vide. Ainsi, on aura : $P = 70 - 2 = 68 \text{ cm}$ et $V = S \times P$ soit $V = 1,1118 \times 0,68 = 0,756 \text{ m}^3$ pour

un volume utile $V_u = V \times \varepsilon$

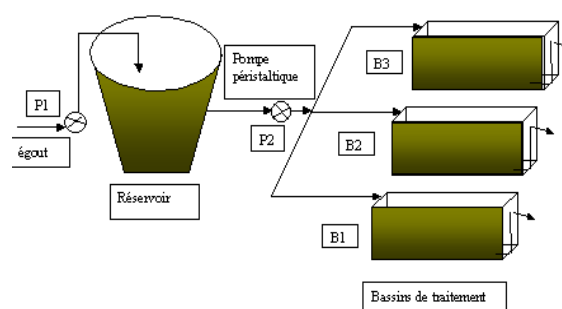


Figure 1 : Pilote de traitement d'eaux usées domestiques par filtres plantés de macrophytes

2.4 Echantillonnage et quantification

Pour suivre l'évolution du traitement, des analyses sont réalisées sur les échantillons prélevés périodiquement avant et après traitement des eaux usées. Les échantillons ont été prélevés par mois de juin 2013 à avril 2015. Les paramètres suivants ont fait l'objet de mesure :

- paramètres physico-chimiques :

- Paramètres in situ : Température, pH, conductivité électrique, solides totaux dissous (TDS), oxygène dissous, turbidité déterminés à l'aide du multiparamètre Sensio 156.
- Paramètre au laboratoire : Demande Chimique en Oxygène (DCO), déterminée par volumétrie (méthode au bichromate de potassium), après minéralisation dans le Minéralisateur WTW CR 3200. Demande Biochimique en Oxygène pendant cinq jours (DBO₅), déterminée par la méthode respirométrique à l'aide de l'Oxitop WTW DBO dans l'Armoire Thermorégulatrice Aqualitic. Les nitrites, nitrates, azote ammoniacal, phosphates, sulfates à l'aide du spectrophotomètre UV/vis de marque Perkin Elmer Lambda 40. Les charges pondérales (MES), déterminées après passage sur des filtres (Whatman GF/C) suivies d'un séchage dans une étuve à 105°C.

- les paramètres hydrodynamiques : le débit, le bilan hydrique pour une vitesse d'écoulement comprise entre 10⁻⁵ et 10⁻³ m/s (conditions d'un bon écoulement et de préservation contre le colmatage) a été établi.

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Présentation des premiers résultats de caractérisation des rejets de la FST

Le rejet du campus de la FST a été caractérisé avant traitement pour se faire une idée de la pollution initiale. Les moyennes des résultats obtenus sont reportées dans les tableaux 1 et 2.

Tableau 1: Paramètres in situ des rejets liquides de la FST

T (°C)	pH	Cond (μS/cm)	TDS (mg/L)	Turb (NTU)	OD (mg/L)

26,6	6,65	342,5	159,81	179,8	2,84

Tableau 2 a, b: Paramètres physico-chimiques des rejets liquides de la FST

a			
MES (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	DCO (mg/L)	DBO ₅ /DCO
169,21	200	325,36	0,66
b			
NO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	Cl (mg/L)	
6,696	1,316	60,25	

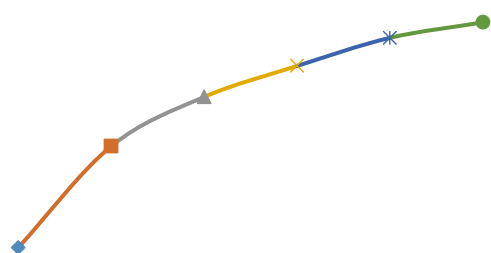


Figure 2: Courbes de suivi des DBO₅ de l'effluent brut de la FST

Les résultats ont montré une variation des teneurs des différents paramètres.

La température de 26,6°C, est favorable au développement des microorganismes pouvant participer à l'autoépuration. La valeur de la turbidité (179,8 NTU) dépasse les valeurs guides de rejet, cela dénote que ces eaux de rejet sont turbides, ce qui est confirmé par la forte charge pondérale de 169,2 mg/L.

La valeur de la conductivité qui est de 342,5 est inférieure à la directive de rejet de l'OMS. La conductivité est surtout liée aux ions provenant de la minéralisation causée par les matières organiques qui se trouvent dans ces eaux.

Ces rejets avec un pH moyen de 6,7 restent légèrement acides autour de la neutralité. Contrairement au taux de 7,25 mg/L de dioxygène, les valeurs déterminées pour les différents échantillonnages sont pour la plupart inférieures à la saturation. Elles justifient la mauvaise odeur à l'exutoire de l'égout.

Si, l'apport des rejets selon l'OMS ne doit en aucun cas engendrer des teneurs en azote ammoniacal excédant 0,50 mg/L et 45 mg/L de nitrate, ces premiers résultats de caractérisation sont en deçà de cette valeur. Dans le cas de nos échantillons, les concentrations en nitrites dépassent toutes les niveaux (0,1 mg/L) généralement tolérés par l'OMS dans les eaux rejetées.

Une concentration d'ions chlorures d'environ 200 mg/L est souhaitée dans les eaux. Les taux en chlorures dans les prélèvements restent dans les concentrations maximales admissibles (250 mg/L). Des résultats obtenus, nous pouvons remarquer que tous échantillons d'eau analysés contiennent une

pollution organique et minérale non négligeable avec une DBO₅ de 200 mg/L et une DCO de 325,36 mg/L de dioxygène.

La figure 2 montre la courbe de suivi de la DBO₅. Elle donne des indications sur la biodégradabilité de l'effluent.

L'analyse de la courbe indique que les effluents rejetés sont rapidement biodégradables. Cependant, nous observons des reprises de la DBO entre le deuxième jour et le quatrième jour. Cette reprise, due aux organismes nitrificateurs, ne se produit généralement pas avant cinq jours. Elle a débuté à partir du quatrième jour. Le rapport moyen de DBO₅/DCO confirme la biodégradabilité des rejets liquides. En effet, pour les rapports supérieurs à 0,6; les constituants contenus dans les rejets pendant ces périodes sont tous biodégradables. Lorsque ces rapports sont inférieurs à 0,6; cela dénote de la présence de contaminants non biodégradables [10].

L'exploitation et l'analyse des résultats, nous permettent d'envisager le traitement des eaux de l'effluent de la FAST moins chargés en polluants organiques et minéraux à l'aide de filtres plantés de macrophytes.

Tableau 3 : Taux d'abattement des différents paramètres

Paramètres	Taux d'abattement		
	<i>Typha sp</i> (%)	<i>Vetiveria zizanoides</i> (%)	Témoin (%)
TDS	30,96	25,35	20,16
MES	89,99	90,48	90,32
DBO ₅	72,43	53,41	31,46
DCO	76,37	53,35	30,07
NO ₃ ⁻	69,23	24,79	9,4
NO ₂ ⁻	82,46	29,82	18,13
NH ₄ ⁺	80,99	54,37	58,17
PO ₄ ³⁻	56,53	28,53	21,09
SO ₄ ²⁻	28,6	16,7	3,92
8	55,26	10,00	0
Cu	33,33	0	0
Ni	40,00	0	0
Pb	36,84	10,00	10,00

3.2. Efficacité de traitement des bassins

La détermination des abattements par bassin, renseigne sur l'efficacité du macrophyte à dépolluer l'eau usée. Nous obtenons le tableau suivant indiquant les abattements journaliers par paramètre analysé et par bassin d'épuration.

Nous constatons que les charges polluantes générées ont subi des variations dans le temps dans le même bassin et d'un macrophyte à un autre. Les pollutions liées aux substances organiques et minérales caractérisées par les DBO₅ et DCO ; les nutriments formés des composés de l'azote (nitrates, nitrites et ions ammoniums) et du phosphore pour lequel, nous avons quantifié les ortho phosphates ; ont abouti à des abattements plus marqués pour le typha que pour

le vétiver. Le bassin témoin, dans lequel, il n'a été planté aucune essence, n'a pratiquement pas contribué à une épuration favorable. En définitive cette étude du flux horizontal certifie l'adaptabilité du procédé pour le traitement des eaux peu chargées et la dégradation des polluants en milieux d'anoxie, et elle en confirme les limites et les avantages des performances hydrauliques.

Nous avons désigné les bassins de typha, de vétiver et témoin respectivement par B₁, B₂ et B₃. Les tableaux suivants font ressortir les concentrations des paramètres déterminés lors de l'essai de traitement de l'effluent de la FST et des rejets après chaque bassin. En effet, il a été constitué par les moyennes au niveau de chaque étape (effluent brut, bassin de typha, de vétiver et du témoin). Une estimation des charges polluantes à partir desquelles, nous avons calculé les taux d'abattement par la formule de la cinétique de dépollution de premier ordre.

3.3. Etude statistique

Une analyse de covariance a été réalisée à l'aide de la procédure MIXED de SAS pour les variables dépendantes DBO et DCO. Cette analyse a pour but de tester l'effet des traitements en fonction de la valeur initiale de DBO ou de DCO dans l'eau non traitée, appelée la covariable du modèle. La procédure MIXED permet de modéliser la structure des corrélations entre les observations faites à des dates successives dans un même bassin. La modélisation des corrélations est importante pour que les tests statistiques soient valides. Les moyennes ajustées au modèle par traitement sont calculées pour plusieurs valeurs des covariables, soit pour la valeur moyenne de DBO ou DCO initiale et ses 10^e, 25^e, 50^e, 75^e et 90^e percentiles. Les tests de différences entre les traitements sont également effectués pour plusieurs valeurs de la covariable. Statistiquement, et à la lumière des corrélations, les effets observés seraient tous significatifs. Le typha, comparativement au vétiver traite mieux ces eaux usées domestiques. On gagnerait davantage dans l'efficacité des traitements en multipliant les dispositifs.

- Analyse de covariance de DBO₅

- Effet des bassins de traitement sur la teneur en DBO₅



Figure 3: Graphique de DBO₅ de l'effluent brut et à la sortie des bassins en fonction de la date

- Analyse de covariance de DCO

- Effet des bassins de traitement sur la teneur en DCO

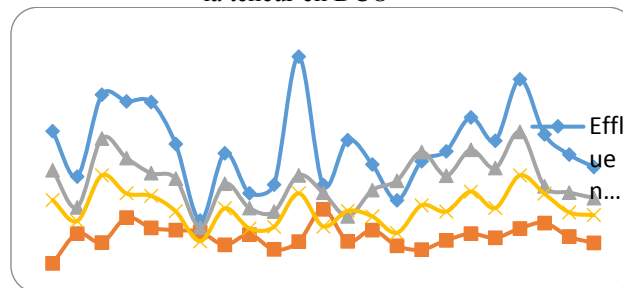


Figure 4: Graphique de DCO de l'effluent brut et à la sortie des bassins en fonction de la date

3.4. Discussions

Les eaux usées d'alimentation ont une charge organique journalière et contiennent de matières solides (MES = 31,408g/j; TDS = 24,781g/j; DCO = 59,632g/j). Aussi, la charge polluante des nutriments n'est pas négligeable environ ($\text{NH}_4^+ = 0,263\text{g/j}$; $\text{NO}_3^- = 0,585\text{g/j}$; $\text{PO}_4^{3-} = 1,693\text{g/j}$). Ces rejets contiennent également du sulfate ($\text{SO}_4^{2-} = 2,755\text{g/j}$) et des traces métalliques (Fe = 0,038g/j; Cu = 0,006g/j; Pb = 0,019g/j; Ni = 0,001g/j). La diminution des concentrations des paramètres physico-chimiques dans les filtrats des bassins de typha et de vétiver pourrait s'expliquer par divers processus plus ou moins imbriqués. La baisse du pH traduit une acidification du milieu. Cette acidification pourrait résulter de l'oxydation de la DCO et du NH_4^+ [11]. En effet, l'oxydation de la DCO produit du dioxyde de carbone (CO_2) qui acidifie le milieu. De même, la nitrification (oxydation de NH_4^+) entraîne une acidification des filtrats. Les résultats obtenus montrent que la conductivité électrique de l'effluent brut est supérieure à celle des filtrats des différents lits. La diminution de la conductivité des filtrats s'expliquerait, en plus du type de plante, par une rétention de sels dans les massifs filtrants. Ces sels peuvent être retenus par diverses réactions physico-chimiques et biochimiques (absorption, échanges ioniques, complexation, oxydation, neutralisation). La diminution de la concentration des MES dans les différents filtrats est surtout due à la filtration physique au niveau du bassin de collecte qui retient les matières grossières en surface et les plus fines, soit par blocage entre les pores, par interception et fixation sur les grains ou par interactions chimiques de type Van Der Waals [12]. Toutefois, les filtrats des lits plantés étaient plus troubles par rapport à ceux du témoin. Cette observation a été également faite par Molle (2003) qui l'a attribuée à la présence des plantes. Le développement du système racinaire et rhizomateux des plantes crée des tunnels dans le

massif filtrant par lesquels des matières fines peuvent passer et se retrouver dans les filtrats. L'élimination est respectivement de 89,99 %, 90,48 % et 90,32% des MES dans les lits plantés de typha, de vétiver et du témoin. Les lits plantés et témoin donnent des filtrats dont la concentration de la DCO est inférieure à celle de l'effluent d'alimentation. Ceci est vraisemblablement dû à la rétention physique de la matière organique de l'eau usée dans les filtres et l'oxydation de celle-ci par la flore microbienne. Le lit planté avec *typha sp.* a donné un meilleur rendement épuratoire (76,37 %) par rapport au *vettiveria zizanoides* (53,35%) et plus que le bassin témoin (30,07%). Ce résultat est probablement lié à la présence des plantes qui créent des conditions physico-chimiques favorables à l'oxydation de la DCO par la flore microbienne. Celles-ci apportent de l'oxygène dans le massif filtrant via les racines et les rhizomes [13, 14, 15]. Par ailleurs, les plantes favorisent le développement de la biomasse microbienne au sein même des dépôts organiques en surface grâce à l'ombrage qu'elles procurent et à l'hygrométrie qu'elles maintiennent. Concernant le NH_4^+ , sa concentration dans les filtrats des différents lits est inférieure à celle des eaux usées d'alimentation et le rendement épuratoire du lit planté (80,99 %) pour la quenouille est significativement plus important que celui du vétiver (58,17 %) et du témoin (54,37%). Ce résultat s'expliquerait par l'oxydation biologique du NH_4^+ par les bactéries nitrifiantes et par le prélèvement des plantes. La concentration de PO_4^{3-} a légèrement diminué dans les filtrats des différents lits plantés plus que dans le témoin. Cette diminution pourrait résulter d'une assimilation bactérienne et/ou végétale et par l'adsorption de PO_4^{3-} dans le massif filtrant [12, 16, 17]. Comparativement au vétiver, la quenouille aussi bien pour les nitrates, les nitrites et les ortho-phosphates donnent le meilleur rendement d'enlèvement. Cependant, le besoin en ces substances baisse quand les plantes atteignent leur croissance maximale. Les sulfates sont moins extraits par les filtres plantés pour 28,60% et 16,70%

dans l'efficacité de traitement contre 3,92% à travers le bassin témoin. La dépollution en métaux traces est beaucoup moins marquée voire insignifiante chez le vétiver qu'avec le filtre planté de typha où, nous notons les abattements de 55,26% pour le fer, le plomb 36,84%, le cuivre 33,33% et le nickel 40,00%.

IV. CONCLUSION

Dans ce travail nous avons étudié le pouvoir épuratoire du typha et le vétiver. Les résultats que les eaux du campus de Badalabougou sont assez chargées (DBO 200, DCO 320 mg/L), mais l'allure de courbe de la figure 2 montre que les eaux usées de la FST sont biodégradables. Les deux macrophytes ont à peu près les mêmes pouvoirs épuratoires, mais le typha sp est plus efficace que le vettivern zizanoïdes. Le vétiver n'élimine pratiquement pas les éléments trace métalliques.

REFERENCES

- [1]. CIEH (1993). Comité Inter-Africain d'Etudes Hydrauliques -"Etude comparative des systèmes d'épuration collectifs dans le contexte africain". CIEH; Ouagadougou. 66 p.
- [2]. Kadlec, R.H. and Knight, R.L., (1996). Treatment wetlands CRC press, Boca Raton, FL U.S.A.
- [3]. Mandi L., Bouhoum K., Asmama S., Schwartzbrod J., 1996. Wastewater treatment by reed beds : an experimental approach.
- [4]. Abissy M., Mandi L. (1999) : Utilisation des plantes aquatiques enracinées pour le traitement des eaux usées urbaines : cas du roseau. Revue Sc.Eaux, Vol.12 (2), pp.285-315.
- [5]. Kyambadde, J. Kansiime, F. and Dalhammar, G. (2004). A comparative study of cyperus papyrus and Miscanthidium violaceum-based constructed wetlands for wastewater treatment in tropical country. *Water Research* 38: 475-485.

Estimating Groundwater Recharge in the Context of Climate Change Using Earth and Thornthwaite Models in the Klela Basin in Southern Mali, West Africa

Adama Toure^{1,3*} Bernd Diekkrüger² Adama Mariko¹ Abdoulaye S. Cisse¹

¹Laboratory of Water/Environment, Department of Chemistry, University of Sciences, Techniques and Technologies of Bamako

²Department of Geography, University of Bonn

³Department of Applied Hydrology, Faculty of Science and technology, University of Abomey-Calavi

*Adresse de correspondance: adamamca@yahoo.fr

SUMMARY: Investigations of groundwater recharge estimation is vital to the inhabitants of the Klela Basin, Mali, because groundwater is the only permanent water resource and is used for drinking water and irrigation. Due to climate change, this vital resource is being threatened. Therefore, EARTH model was applied in this study to simulate groundwater dynamics. The aim of this study was to evaluate the impact of climate change on groundwater recharge in the Klela basin using the RCP4.5 climate scenario. Climatological and hydrogeological data were collected and used in this study. Mean annual groundwater recharge was estimated to be approximately 176 mm/yr, or 13.9% of mean annual rainfall, using the EARTH model. This recharge value was then used to calibrate the Thornthwaite model, of which, the results show a decrease of groundwater recharge over time, and that recharge is mainly linked to seasonal rainfall amount. The 2030s are expected to be severe drought period in the basin.

Keywords: Groundwater recharge, EARTH model, Klela Basin, Southern Mali.

I. INTRODUCTION

Groundwater resources provide important sources of drinking water throughout the world, especially in developing countries where most human activities (*e.g.*, domestic water use, small-scale irrigation, *etc.*) depend on groundwater. The investigated basin in Mali is an agricultural zone, growing cotton and rice during the rainy season and potatoes during the dry season. The surface area used for agriculture has been extended in the basin to ensure food security for the growing population. In addition, most of the rural population uses water from traditional wells that are recharged by rainfall and dry out a few months after the recharge period. Moreover, water sustainability in the town of Sikasso's supply system remains a challenge due to groundwater exploitation in the context of increased water demand and climate variability and change. Therefore, better understanding and management of this vital resource are the principal requirements of responsible water use. Because of the growing population and climate change, a scientific tool should be used to assess present and future difficulties related to water supply and demand in the study area. Many methods for estimating groundwater recharge were developed throughout the world for integrated water resources management. However, few studies have been conducted in West Africa estimating groundwater recharge, especially in Mali, where some studies

[1,2] have predicted rainfall decreases. For example, Bricquet *et al.* [3] showed a reduction in groundwater storage in the Bani basin (which contains several subbasins, including the Klela basin) due to decreases in rainfall and runoff.

The partitioning of rainfall into groundwater (recharge) was estimated by Toure *et al.* [4] to be 13.6% of annual rainfall using EARTH model for single borehole in the study area. This method uses only monthly time steps to estimate the recharge. As recharge is a keyword in groundwater modeling, it is then useful to estimate using daily data.

Therefore, the purpose of this study is to evaluate the impact of climate change on groundwater recharge in the Klela basin using the RCP4.5 climate scenario. EARTH (Extended model for Aquifer Recharge and soil moisture Transport through the unsaturated Hardrock) model and Thornthwaite model are used to achieve this objective.

Study Area

The Klela basin is located in the Sikasso Region in southern Mali, with a small part located in western Burkina Faso. Situated between 5° 55' 58.8" and 5° 16' 12" longitude and 11° 40' 58.8" and 10° 59' 45.6" latitude, it covers approximately 3,680 km². The elevation of the Klela Basin decreases from south to north, from 748 m above sea level (masl; south) to 305 masl (north) (Figure). The only assured water supply is groundwater, and all the inhabitants depend

directly or indirectly on this resource. The minimum monthly temperature varies from 12.3°C to 26.8°C, the maximum temperature ranges from 28.8°C to 39.9°C and the average temperature is 27.4°C (Figure). The climate belongs to the Sudano-Sahelian zone and is characterized by a dry season (November–May) dominated by a dry wind from the Sahara (Harmattan) and a rainy season (June–October) with a wet wind from the Guinean Gulf (monsoon) [5]. The mean annual precipitation is approximately 1,131 mm/year. The average annual potential evapotranspiration is approximately 2,060 mm/year (Figure) based on the Blaney Criddle method. The geology of the study area is mainly constituted by sandstone and dolerite formations (Figure). However, the Tabular Infra-Cambrian fractured sandstone formation is predominant. Groundwater can be found in the fractured bedrock at depths of up to 100 m. The recent formations that cover the sandstone bedrock are constituted by clay, sand and laterite, with a maximum covering thickness of 64 m.

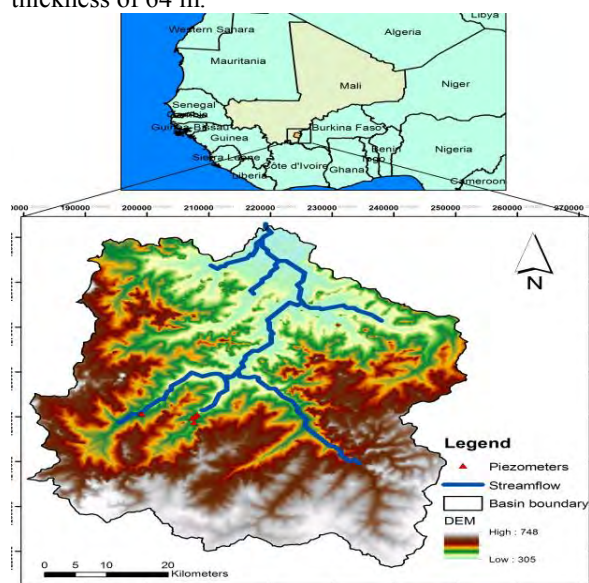


Figure 1. Geographical location of the Klela Basin in southern Mali

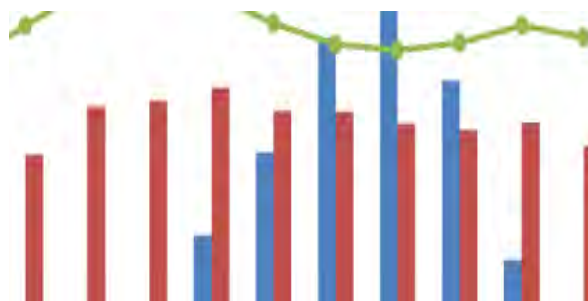


Figure 2. Monthly average rainfall (mm) (blue bars), potential evapotranspiration ET_0 (mm) (red bars) and temperature (green line) in the Klela Basin from 1970–2013 (data Source from DNM)

II. METHODOLOGY

1. EARTH model

EARTH (Extended model for Aquifer Recharge and soil moisture Transport through the unsaturated Hardrock) is a lumped parametric model that can be used to estimate groundwater recharge. It was developed by van der Lee *et al.* in 1989 in a project in Botswana and tested under different climate conditions [6]. It is a one-dimensional model designed for semi-arid areas. EARTH combines direct and indirect methods. The direct method describes the recharge process from the atmosphere to the soil zone. The indirect method uses groundwater level fluctuations as indicators of the recharge process. The direct method determines recharge using physical processes above the groundwater table, whereas the indirect method calculates the groundwater level that results from recharge estimated by the direct method [6]. The EARTH model has five modules: MAXIL, SOMOS, LINRES, SUST and SAFLOW (Figure). MAXIL, SOMOS and LINRES comprise the direct part of the model and simulate recharge in the unsaturated zone. They can be calibrated with measured time series of soil moisture data. SATFLOW is the indirect part of the model and calculates the water level from the recharge simulated by the direct part. SUST calculates the surface runoff.

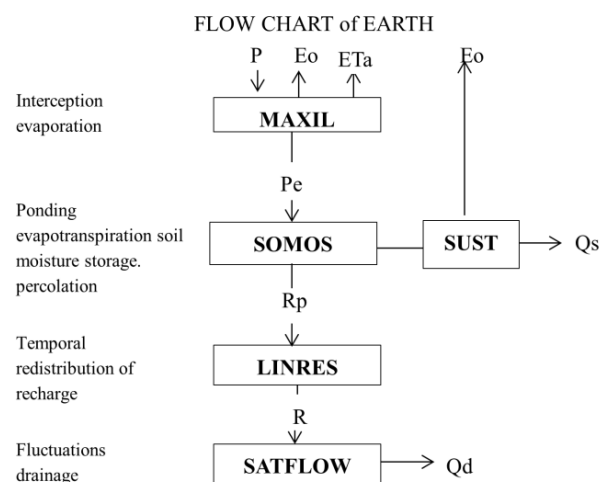


Figure 3. Flow chart of the EARTH model (modified from [6]. E_0 = potential evapotranspiration, ET_a = actual evapotranspiration, P = precipitation, P_e = precipitation excess, R_p = percolation, R = recharge, Q_s = surface runoff, and Q_d = drainage runoff.

SATFLOW, the last reservoir of the EARTH model, uses the equation 1 to simulate groundwater levels with the estimated recharge of the direct part of the model from the percolation zone [7]. The equation of de Vries 1974 cited in [8] can be seen as follows:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{R}{STO} - \frac{h}{RC} \quad (1)$$

where h is groundwater level above the local base level (mm), R is recharge (mm/d), STO is storage coefficient, RC is saturated recession constant, and dh/dt is change in groundwater level over time (mm/d).

2. Model input and calibration

EARTH model requires daily precipitation and potential evapotranspiration as input data. In addition, daily groundwater level and soil moisture storage may be used for model calibration purpose. Other 11 input parameters are needed to calibrate the model. These parameters can be determined either from field measurements or from optimization of the model [9]. In this study daily precipitation and potential evapotranspiration were used as input data to the EARTH model to estimate the recharge. As the soil moisture storage was not available, only the daily observed groundwater levels were used to calibrate the model. EARTH model was applied to three location piezometers (F7, F15 and F18) at Sikasso commune inside the basin, where the groundwater levels were monitored from January 2012 to December 2013.

EARTH model was calibrated by a trial and error procedure adjusting model parameters manually.

The important parameters changed in this calibration process were maximum soil moisture content, $MAXIL$ and unsaturated recession constant. Other parameters were fixed as constant. The calibrated result for the three piezometers shows some differences between simulated and observed groundwater level. Three calibration procedures were carried out during the calibration process: first change the parameter value that causes the largest deviation, change just one parameter in each run; determine if the change of the parameter cause negative or positive effect on other part [10].

III. RESULTS

The model was able to simulate groundwater level from the beginning to the end of the simulation period (Figure 18). After model calibration, it provides some outputs. The parameters set to the model for calibration can be seen in the Table 1. The main outputs provided by EARTH model are actual evapotranspiration and daily groundwater recharge which are represented graphically in Figure 18, and others are quantitatively represented in Table 2.

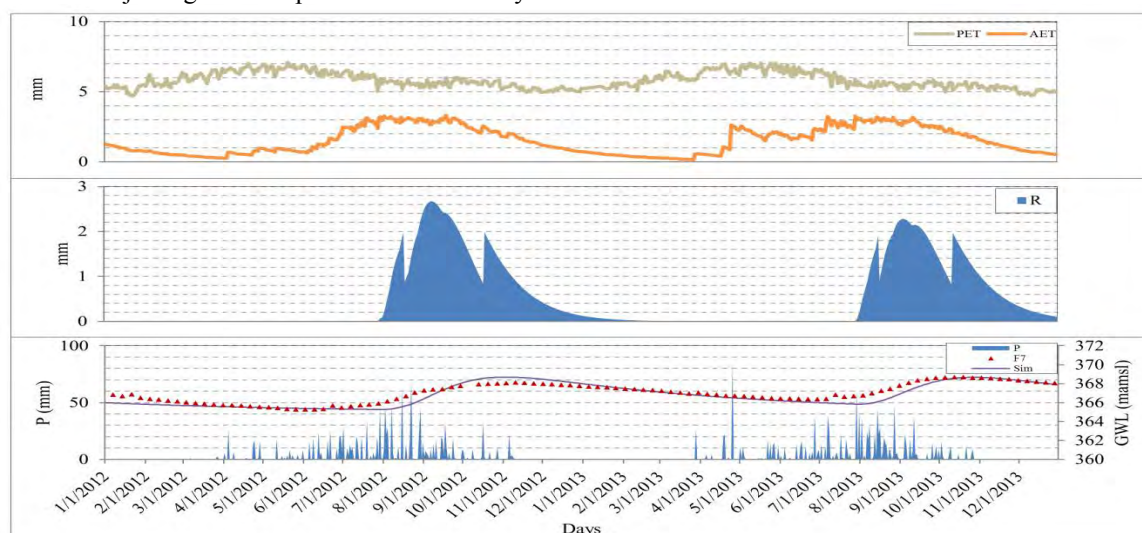


Figure 4. Example of EARTH results for the piezometer F7. From top to bottom, potential and actual evapotranspiration (mm); recharge (mm); and precipitation (mm) and simulated and observed groundwater levels meter above mean sea level for the Klela basin, from 2012-2013

In the study area, groundwater level rise takes two to three months lags after the first rainfall during the rainy season (Figure 18). This may be explained by the increase of actual evapotranspiration during the rainy season, which evaporates most of the first amount of precipitation. Furthermore, the daily actual evapotranspiration computed by the model ranged from 0.15 mm/day to 3.79 mm/day as minimum and maximum values for the piezometer F7 and F15, respectively. The variation between the mean annual actual evapotranspiration for the two simulation period (2012-2013) was not significant

and found to be 1.52, 1.81 and 1.83 mm/day for F7, F18 and F15, respectively.

The results from EARTH model show that groundwater recharge starts occurring in July for all the three piezometers and attends their maximum value in August/September. The recharge for piezometer F7 is widely extended on more months compared to the two others. The maximum daily recharge occurs at F18 to be 5.37 mm/day in 2012. The temporal variation between the mean daily recharge is insignificant which is about 0.5, 0.47 and 0.48 mm/day for F7, F15 and F18, respectively. Moreover, the maximum mean annual recharge was

recorded at piezometer F7 which was 190.2 mm/a, or 14.9% of mean annual rainfall, in 2012; while the minimum was registered at F15 in 2013 and equal to 163.0 mm/a, or 12.9% of mean annual rainfall. The overall mean annual recharge was estimated to be 13.9% of the overall mean annual rainfall (Table 2).

Furthermore, the calibrated result was evaluated by qualitative and quantitative comparison of the simulated and observed groundwater levels. The qualitative comparisons are based on visual comparison of the simulated and observed

groundwater level. While the quantitative model calibration was carried out using correlation coefficient (R^2), Root Mean Square Error (RMSE) and Nash-Sutcliffe coefficient (Nr). The correlation coefficient was used to evaluate the model performance. The range of R^2 is between 0 and 1. The value of 0 means there is no correlation between observed and simulated data, whereas the value of 1 means the dispersion of the prediction matches that of the observation.

Table 1. Parameters for the EARTH model simulation at representative piezometers, Sm. maximal soil moisture content (mm); Sr. residual soil moisture content (mm); Si. initial soil moisture content (mm); Sfc. Soil moisture at field capacity (mm); Ssmax. maximum surface storage (mm); MAXIL maximum interception loss (mm); Ks. saturated hydraulic conductivity (mm/day); f. unsaturated recession constant (day); n. number of reservoirs; RC. saturated recession constant (day); Sto. storage coefficient; Lbl. local base level

Piezometer	Sm	Sr	Si	Sfc	Ssmax	MAXIL	Ks	f	n	RC	Sto	Lbl
F7	320	30	100	190	0	3.2	3500	20	2	160	0.05	365
F15	300	1	200	190	0	3	3000	15	1	160	0.05	348
F18	310	1	200	190	0	3	3000	15	1	160	0.05	355.5

RMSE and Nr were also used to evaluate the quantitative model calibration. The more the value of RMSE is close to 0 the lower is the difference between simulated and observed groundwater level. RMSE is calculated as follows:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_o - h_s)_i^2} \quad (2)$$

where h_o is observed head (m) and h_s is simulated head (m).

In contrast, when the value of Nr is greater than 0.5, the dynamic of the observed groundwater level is considered as well simulated. Nr proposed by Nash and Sutcliffe, (1970) is calculated using:

$$N_r = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (h_{o_i} - h_{s_i})^2}{\sum_{i=1}^n (h_{o_i} - \overline{h_o})^2} \quad (3)$$

where $\overline{h_o}$ is mean observed head (m).

The results of the third model performance evaluation used in this study are mentioned in Table 3 below and shown relatively a good correlation between simulated and observed groundwater level, particularly for piezometer F7 where the value of R^2 was approximately 0.94. All the values of Nr are greater than 0.5, which confirms again a good simulation of the model.

Table 2. Water balance results for the three piezometers calculated with EARTH model (2012-2013), P. precipitation (mm); Pe. Precipitation excess (mm); PET. potential evapotranspiration (mm); AET. actual evapotranspiration (mm); R. recharge (mm); R (%) percentage of rainfall

Piezo meters	Simulation period	P (mm)	Pe (mm)	PET (mm)	AET (mm)	R (mm)	R (%)
F7	2012	1273.4	789.7	2133.3	552.5	190.2	14.9
	2013	1262.7	789.5	2104.6	560.0	173.1	13.7
F15	2012	1273.4	812.7	2133.3	723.4	179.7	14.1
	2013	1262.7	811.4	2104.6	614.4	163.0	12.9
F18	2012	1273.4	812.7	2133.3	712.6	184.8	14.5
	2013	1262.7	811.4	2104.6	607.0	167.7	13.3

Table 3. Summary of EARTH model performance evaluation (R^2 : correlation coefficient; RMSE: Root mean square error; Nr: Nash-sutcliffe coefficient)

Piezometer	R^2	RMSE	Nr
F7	0.937	0.182	0.763
F15	0.859	0.217	0.678
F18	0.843	0.182	0.763

Compared these results of EARTH model to others carried out throughout the world, one can say that

they are reasonably acceptable. For example, Usher *et al.* [11] used the EARTH model in their study in South Africa (Kalkveldarea) in the fractured sandstone aquifer and obtained the recharge rate to 7.4% of mean annual precipitation. In the same manner, Baalousha [12] applied the same model in Palestine in the calcareous sandstone and sand aquifers to get 36.95% of mean annual rainfall. Other studies were carried out in various aquifer types different from sandstone applying EARTH model which can be seen in the Table 4.

Table 4. Summary of the recharge results for different aquifers using EARTH model

Country	Climate	Aquifers	P (mm/a)	R (%)	Reference
China (Nanjing)	-	glacial outwash sand and gravel of Quaternary age	1050	29.2-37.7	[13]
China (Wuhan)	Semi-arid	Unsaturated sand	965.6-1463.8	7.2-26.5	[14]
Ethiopia (Lake Beseka)	Semi-arid	Volcanic rock	948.8	8.5-8.9	[8]
Eastern Uganda (Pallisa District)	Semi-arid	Fractured gneiss and granitic formations	1250	11.4	[7]

Scenario quantification

In order to quantify the future groundwater recharge, RCP4.5 scenario data was used in this study. Monthly precipitation data from the RCP4.5 (Representative Concentration Scenario 4.5 W/m²) scenario were taken from the GCM ECHAM, downscaled to a 0.44° resolution by the Swedish Meteorological and Hydrological Institute (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institute, SMHI) and provided by the CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) initiative. They were used to calculate the past and future groundwater recharge in the Klela basin (Figure 19). RCP4.5 is an intermediate pathway and a stabilization scenario based on the assumption that all countries around the world implement emissions mitigation policies [15,16].

scenario based on the Thornthwaite Monthly Water Balance and rainfall (mm) from 1970 to 2050

The Thornthwaite Monthly Water Balance model [17], which is based on monthly temperature and rainfall data, was used for this recharge estimation. The model was calibrated to fit the groundwater recharge previously simulated using EARTH. To calibrate this model, direct runoff was set to zero because local scale surface runoff infiltrates on the way to the river system. There is no direct runoff contribution to the discharge of the basin. The soil moisture storage capacity was calibrated to be 375 mm by comparing the groundwater recharge of the two models (EARTH and Thornthwaite). All other parameters were unchanged. More details on this model can be found in [17]. After calibration, the model was applied to simulate groundwater recharge in the past (1970-2010) and the future (2010-2050). The overall result shows that recharge decreases from 1970 to 2050 and severe droughts occur from 2030 to 2037 (Figure 19).

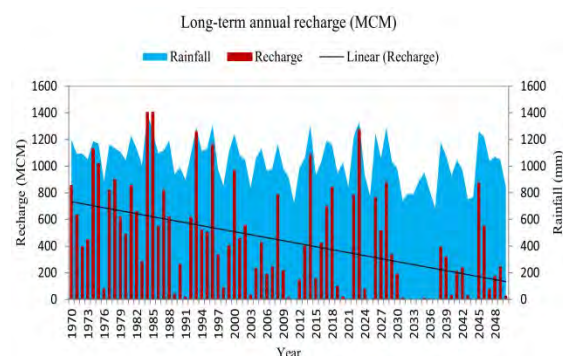


Figure 5. Long-term groundwater recharge 334 in million cubic meters (MCM) calculated using historical and future climate data from the RCP4.5

VI. CONCLUSION

Although the findings of various studies argue that groundwater recharge is poorly known, EARTH model was applied in this study to attempt quantifying groundwater recharge. The overall results show that the recharge is mainly depending on the local precipitation. Groundwater level rise and specific yield were keywords in estimating the recharge.

Rising of groundwater level starts in July, *i.e.*, two months after the first rainfall and decreases in October. Furthermore, the specific yield is poorly known and pumping test data, allowing determining the specific yield, available in the study area is for short times (4-6 hours). Despite these uncertainties on the field data, the EARTH model was used to estimate the recharge. Finally, the EARTH model has given the recharge which ranges from 12-14% of average annual rainfall. This method is more reliable for the simple reason that it uses the calibration process to estimate the recharge and the difference between the minimum and maximum values is not high. The results from the Thornthwaite model exhibited that groundwater recharge will considerably decrease, especially in the 2030s where the annual recharge is very low.

This study suggests for the future studies to investigate more deeply on groundwater recharge estimation in the study area. Another suggestion is the implementation of more piezometers throughout the basin scale in order to better monitor the groundwater level fluctuation.

ACKNOWLEDGEMENTS

I thank WASCAL (West African Science Service Center on Climate Change and Adapted Land Use) for funding. I also thank the Direction of ENI-ABT for their financial support.

REFERENCES

- [1] Funk C, Rowland J, Adoum A, Eilerts G, White L. A Climate Trend Analysis of Mali. *U.S. Geological Survey*; 2012 Fact Sheet 2012–3105. Available at: <http://pubs.usgs.gov/fs/2012/3105/fs2012-3105.pdf>
- [2] Taylor CM, Lambin EF, Stephenne N, Harding RJ, Essery RLH. The Influence of Land Use Change on Climate in the Sahel. *J Clim.* 2002; **15**(24):3615–3629.
- [3] Bricquet JP, Bamba F, Mahe G, Toure M, Olivry JC. Évolution récente des ressources en eau de l'Afrique atlantique. *Rev Sci Eau.* 1997; **10**(3):321.
- [4] Toure A, Diekkrüger B, Mariko A. Impact of Climate Change on Groundwater Resources in the Klela Basin, Southern Mali. *Hydrology.* 2016;**3**(2):1–17. doi:10.3390/hydrology3020017
- [5] USAID. Plan de sécurité alimentaire commune rurale de Klela. Commune rurale de Kléla; 2006.
- [6] Van der Lee J, Gehrels J. Modeling aquifer recharge, introduction to lumped parameter model EARTH. Free University of Amsterdam; 1990.
- [7] Gebreyohannes HG. Groundwater recharge modelling: A case study in the central Veluwe, the Netherlands [M.Sc]. International institute for geo-information science and Earth observation Enschede; The Netherlands. 2008. Available at: https://www.itc.nl/library/papers_2008/.../hiwo t.pdf. Accessed 5 May 2016.
- [8] Nyende J. Application of Isotopes and Recharge Analysis in Investigating Surface Water and Groundwater in Fractured Aquifer under Influence of Climate Variability. *J Earth Sci Clim Change.* 2013; **4**(4) 1-14. doi:10.4172/2157-7617.1000148
- [9] Belay EA. Growing lake with growing problems: integrated hydrogeological investigation on Lake Beseka, Ethiopia. PhD: University of Bonn; Germany.2009. Available at: <http://hss.ulb.uni-bonn.de/2009/1645/1645.pdf>. Accessed 13 Jun. 2013.
- [10] Anderson MP, Woessner WW. Applied groundwater modeling: simulation of flow and advective transport. San Diego: Academic Press; 1992. 381 p.
- [11] Usher B, Pretorius J, Tonder G van. Management of a Karoo fractured-rock aquifer system – Kalkveld Water User Association (WUA). *Water SA.*; **32**(1):9–19, 2005.
- [12] Baalousha HM. Risk assessment and uncertainty analysis in groundwater modelling PhD. Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Germany.2003. Available at: <https://www.deutsche-digitale-bibliothek.de/binary/66XM233YFAT4D7CFYX64QMR33DZTZRSRG/full/1.pdf>. Accessed 29 Feb. 2016.
- [13] Lu X, Zhou Z, Wang J. Analysis on Interactions Among Atmosphere, Surface and Ground Water using EARTH Model in the Unsaturated Zone. *Procedia Environ Sci.*; **8**:134–9, 2011. doi: 10.1016/j.proenv.2011.10.022
- [14] Wang B, Jin M, Liang X. Using EARTH model to estimate groundwater recharge at five representative zones in the Hebei Plain, China. *J Earth Sci.* **26**(3):425–434, 2015. doi: 10.1007/s12583-014-0487-6.
- [15] Moss R, Babiker M, Brinkman S, Calvo E, Carter T, Edmonds J, et al. Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts, and response strategies. *Intergovernmental Panel on Climate Change.* Geneva, 132 pp; 2008.
- [16] Thomson AM, Calvin KV, Smith SJ, Kyle GP, Volke A, Patel P, et al. RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. *Clim*

Change. ;**109**(1-2):77–94, 2011 Nov. doi:
10.1007/s10584-011-0151-4

[17] McCabe GJ, Markstrom SL. A monthly water-
balance model driven by a graphical user
interface. *U.S. Geological Survey*, Open File
Report 2007-1088, 6p; 2007

Biodiversité bactérienne de l'eau de la mare de Demba Tiarki Tara, Mali

M.W. BAGAYOKO¹, A. DICKO¹, R. FANÉ¹, D. NENTOUME¹, O. OUATTARA¹, D. DEMBÉLÉ^{1,2} et AH BABANA¹

¹ Laboratoire de Recherche en Microbiologie et Biotechnologie Microbienne (LaboRem-BioTech), Faculté des Sciences et Techniques (FST), Université des Sciences, des Techniques et Technologiques de Bamako

² Institut de Génétique et de Biologie Moléculaire et Cellulaire (IGBMC) CNRS-INSERM-UdS, Illkirch

Auteurs correspondants : bamawe@yahoo.com, mwbagayoko@ml.refer.org

RESUME : L'eau de la mare de Demba TT est utilisée par la population humaine locale et environnante pour des soins thérapeutiques (antalgique, anti-inflammatoire, antimicrobienne, vermifuge). La mare est fréquentée par des milliers d'autres personnes venant de toutes les régions du Mali et même d'autres pays voisins. Cette eau est supposée toxique pour les animaux domestiques sauf l'âne. Des 17 échantillons d'eau collectés, 30 souches de bactéries ont été isolées. Toutes ces souches de bactéries sont de gram+ (10% de Cocci et 90% de bacille). Des souches de *Bacillus thuringiensis* ont été mises en évidence par la technique de PCR, par amplification des gènes Cry1C, Cry1B, et Cry2, révélant des allèles de tailles différentes.

Mots clés : Biodiversité Bactérienne, *Bacillus thuringiensis*, Détection moléculaire, Soins thérapeutiques.

I. INTRODUCTION

L'eau est une denrée très précieuse et indispensable pour la vie. Les eaux de surface représentent une source importante environ 0,014% en eau douce (Moudallal S. 1997), mais qui sont sujettes à une pollution critique. En milieu rurale, la population fait recours le plus souvent à des eaux de surface (fleuve, marigots, et mare) pour les besoins quotidiens. Ces eaux sont de potentielles sources de maladies hydriques, surtout celles diarrhéiques ; et en 2004, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) estime à 1,8 millions de décès chez les enfants dans les pays en voie de développement. Au-delà de ces problèmes de santé, il a été démontré que certains microorganismes (bactéries, champignons, virus) non pathogènes restent bénéfiques pour l'homme. Dans la nature, ces microorganismes sont de véritables producteurs de métabolites bioactifs dont les utilités sont multiples dans les domaines de la médecine, de l'agronomie et de la biotechnologie. Les bactéries, telles que les actinomycètes occupent la première place, dans la biosynthèse de métabolites secondaires actifs utilisés comme antibiotiques ou anticancéreux, le *Bacillus thuringiensis* produisent des toxines contre les insectes (De Maagd *et al*, 2001). L'eau de la mare mystique (la population pense que l'eau est bénie par leurs ancêtres) du village de Demba Tiarki Tara, dans la commune

rurale de Dily, au nord-ouest du Mali, fait l'objet d'une utilisation locale pour des soins thérapeutiques tels que les affections dermiques, les inflammations et certaines maladies chroniques. Des témoignages de guérison ont été collectés sur le site par Bagayoko en 2015, Fané et al ont prouvé la présence dans l'eau des *Bacillus thuringiensis* (Fané *et al.*, 2016) et des actinomycètes. Les objectifs de cette étude est : i) d'isoler les souches bactériennes de l'eau de la mare ; ii) identifier et caractériser ces bactéries. Cette étude permettra de mettre scientifiquement en évidence d'une part certaines composantes de cette mare, et d'autre part son importance thérapeutique. Les souches natives de bactéries identifiées et possédant un intérêt particulier feront l'objet d'études très approfondies.

II. METHODOLOGIE

Echantillonnage et Isolement

Dans le village de Demba Tiarki Tara, situé environ à 396 km de Bamako, 17 échantillons d'eau ont été collectés de la mare dans des flacons stériles de 50 ml. Etiquetés et conservés dans une glacière, les échantillons sont acheminés à Bamako au LaboReM-BioTech (Laboratoire de Recherche en Microbiologie et Biotechnologie Microbienne) pour être traiter. Les colonies de bactéries ont été isolées sur le milieu PCA (Plat Count Agar) de marque

Pronadisa ou Gélose Dénombrement (23,5g de PCA dans un litre d'eau distillée) dont la composition pour 1 litre de solution est la suivante (Digeré enzymatique de caséine : 5g, Extrait Levure : 2,5g, Glucose : 1g, Agar 15g). Deux cent microlitre et 1000 µl de chaque échantillons ont été étalés dans des boîtes de pétri, puis incubés à 35°C pendant 24 heures. Les colonies ont été dénombrées le lendemain à l'aide d'un compteur et le nombre total de colonie UFC est évalué par la formule suivante : nombre colonie UFC/ml = (nombre colonie / volume étalé) X 1000).

Identification et Purification de colonies

L'identification des colonies est faite selon leurs caractéristiques macroscopiques, ainsi celles sélectionnées ont été repiquées sur du milieu Nitriente Agar (NA) incubées à 37 °C afin d'être purifier. A 48 heures d'incubation, les souches ont été caractérisées sur le plan macroscopique et microscopique. La coloration de gram est faite 48 heures après incubation et le test de KOH est utilisé pour la confirmation du gram.

Tests Biochimiques

Deux tests biochimiques ont été réalisés, il s'agit de la catalase et de l'oxydase.

Extraction de l'ADN et mise en évidence de *Bacillus thuringiensis* par la PCR

Les souches de Bt obtenues ont été isolées en utilisant le milieu Luria Bertani enrichi de sels selon la méthode décrite par Valicente *et al.*, (2010). Pour ce faire, 1 litre de ce milieu était composé des ingrédients suivants: 1,0 g de glucose ; 8,0 g de bouillon nutritif ; 0,02 g FeSO₄ ; 0,02 g ZnSO₄ ; 2,0 g d'extrait de levure ; 0,03 g MnSO₄ ; 0,3 g MgSO₄ ; 10,0 g tryptone ; 5,0 g de NaCl et 12,0 g d'agar, le pH a été ajusté à 7,5 avec du NaOH à 3M. Le volume est complété à 1 litre puis le mélange a été stérilisé à 121°C pendant 15mn. Les boîtes de Pétri inoculées ont été incubées à 30°C pendant 24 heures. Ces colonies isolées ont servi de substrat pour l'extraction de l'ADN. L'ADN a été extrait en utilisant la méthode décrite par Cerón *et al.* (1995). Elle consiste à mettre une colonie dans un tube de 1,5ml contenant 100 µl d'eau distillée. Le mélange a été bouilli pendant 10mn pour la lyse cellulaire puis centrifugé à 10000rpm pendant 30s à l'aide de (Eppendorf centrifuge 5424). Le surnageant obtenu a été récupéré et utilisé pour l'amplification des gènes cry. L'identification des gènes Cry 1B, Cry 1C et Cry2 a été effectuée par l'amplification (PCR) de

l'ADN en utilisant les amorces spécifiques présentées comme suit :

Cry1B F : 5'-CTTCATCACGATGGAGTAA-3' ;
R : 5'-CATAATTTGGTCGTTCTGTT-3'

et Cry1C : F : 5'-AAAGATCTGGAACACCTTT-3' ;
R : 5'-CAAACCTCTAAATCCTTTCAC-3' ;

Cry2F : 5'-GTTATTCTTAATGCAGATGAATGGG-3' ;
R : 5'-CGGATAAAATAATCTGGGAAATAGT-3'. Le volume réactionnel était 20µl, composé de: 5µl d'ADN ; 1,25X de Buffer ; 1,875mM de MgCl₂ ; 0,5mM de dNTPs ; 5pmol de chaque amorce et 1U/µl Taq ADN polymérase. L'amplification a été réalisée à l'aide d'un thermocycleur TECHNE (TC-3000), selon une version modifiée du programme décrit par Valicente *et al.*, (2010) pour les gènes Cry1B, Cry1C avec respectivement comme température d'hybridation 48°C et 47°C. Quant au gène cry2, il a été amplifié selon le programme décrit par Fiuza *et al.*, (2012) avec une température d'hybridation à 55°C. Un volume de 10µl de chaque produit de PCR a été soumis à l'électrophorèse sur un gel d'agarose de 2%, pendant 1 h30mn à 100 V. La révélation du gel a été faite en utilisant le bromure d'éthidium et la photographie a été effectuée à l'aide du système E-Box VX2, version 15.06.

Résultats



(a)

(b)

Photo 1: a. Aspect nuageux d'une souche bactérienne de *Bacillus thuringiensis* isolée de l'eau de la mare de Demba TT ; b. Souche ED1 sur boîte de pétri.

Description et historique de la mare :

Le bassin versant mesure environ 1 hectare, et se compose en bassin permanent et temporaire.

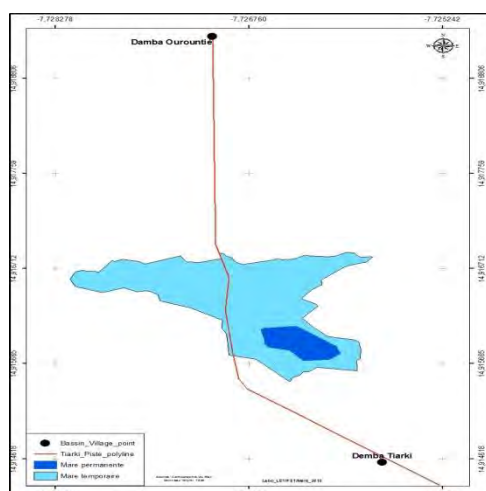


Image 1 : Limites du bassin de la mare de Demba Tiarki Tara. **Source** : Laboratoire Ecologie FST/USTTB, Mali.



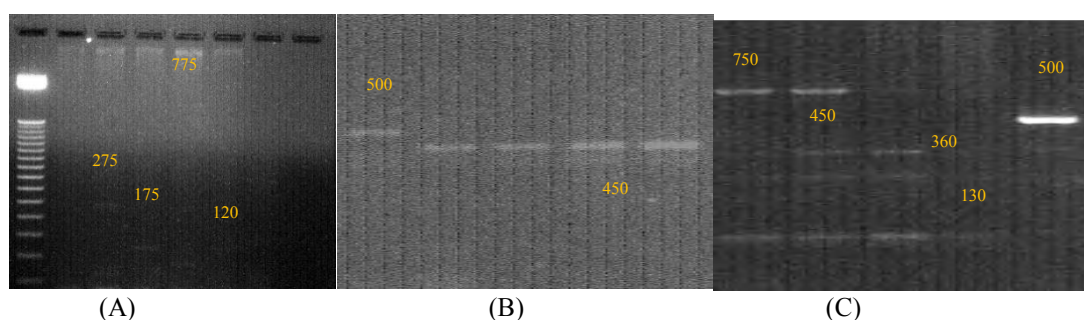
a

b

Photo 2 : Prélèvement d'échantillon et vue de la mare en saison pluvieuse (a) et en saison sèche (b).

Analyses bactériologiques :

Au total 17 échantillons d'eau ont été collectés de la mare puis traités au laboratoire à la Faculté des Sciences Techniques (FST). Le pH des échantillons d'eau varie entre 6,986 et 9,394 ; et avait une tendance pratiquement basique. Sur les 17 échantillons, 30 souches de bactéries, toutes de gram+, ont été isolées et caractérisées.



Cry2 (775, 275, 175, 120 pb), Cry1C (500, 450pb), Cry1B (750,450,500,360,130 pb)

Photo3 : (A, B et C) : Electrophorèse sur gel d'agarose 2% des produits de PCR utilisant des amorces spécifiques Cry2, Cry1C et de Cry1B des échantillons d'eau de la mare de Demba TT: (A): Amplification Cry2; Colonne 1(M): marqueur moléculaire (50pb DNA Step Ladder), D0, D1, D2, D3, D4; (B): Amplification Cry1C et en (C): amplification Cry1B montrant plus de variabilité d'allèles. La PCR des souches isolées (au nombre de 05) a montré la présence de gènes Cry1B Cry1C, et Cry2. En plus des tailles normales attendues, nous avons observé d'autres tailles de fragments inattendus de ces gènes: cry1B avec deux variantes dont 750, 500, 450, 360, 130 pb; cry1C: des fragments de 450 à 500 pb, Cry2: 775, 275, 175, 120 pb.

Tableau 1. Caractéristiques macroscopiques, microscopiques et les tests de catalase et d'oxydase des souches bactériennes isolées de l'eau de la mare de Demba TT.

Souches	Type	Gram	Mobilité	Spore	Aspect	BorCol	Surf.Col	Trans.L	Catalase	Oxydase
ED1-1	Bacille	+	+	-	Crèmeux	Régulier	Plate	+	+	++
ED1-2	Bacille	+	+	+	Crèmeux	Régulier	Plate	+	+	++
ED3-1	Cocci	+	+	-	Crèmeux	Régulier	Plate	+	+	+
ED3-2	Bacille	+	+	-	Crèmeux	Régulier	Plate	+	+	+
ED4-1	Cocci	+	+	-	Crèmeux	Régulier	Plate	-	+	-
ED4-2	Bacille	+	+	-	Crèmeux	Régulier	Plate	+	+	+
ED5	Bacille	+	+	-	Crèmeux	Régulier	Plate	+	-	+
ED6-1	Bacille	+	+	-	Gluante	Régulier	Bombée	+	+	+
ED6-2	Bacille	+	+	-	Crèmeux	Régulier	Bombée	+	+	-
ED7-1	Bacille	+	+	-	Arborescent	Régulier	Plate	+	+	++

ED7-2	Cocci	+	+	-	Crémeux	Régulier	Bombée	+	+	-
ED8	Bacille	+	+	+	Crémeux	Régulier	Plate	+	+	+
ED9-1	Bacille	+	+	+	Crémeux	Régulier	Bombée	+	+	+
ED9-2	Bacille	+	+	-	Crémeux	Régulier	Bombée	+	+	+
ED9-3	Bacille	+	+	-	Crémeux	Régulier	Plate	+	+	+
ED9-4	Bacille	+	+	+	Dure	Régulier	Plate	+	+	+
ED10-1	Bacille	+	+	-	Crémeux	Régulier	Plate	+	+	+
ED10-2	Bacille	+	+	-	Crémeux	Régulier	Plate	+	+	+
ED11-1'	Bacille	+	+	-	Crémeux	Régulier	Plate	+	+	+
ED11-1''	Bacille	+	+	-	Crémeux	Régulier	Plate	+	+	+
ED11-2	Bacille	+	+	-	Dure	Régulier	Bombée	+	+	+
ED11-3	Bacille	+	+	-	Dure	Dentelé	Plate	+	+	+
ED12-1	Bacille	+	+	-	Crémeux	Régulier	Bombée	+	+	+
ED12-2	Bacille	+	+	-	Crémeux	Dentelé	Bombée	+	+	++
ED13-1	Bacille	+	+	-	Crémeux	Régulier	Plate	+	+	+
ED14-1'	Bacille	+	+	+	Crémeux	Régulier	Plate	+	+	-
ED14-1''	Bacille	+	+	-	Crémeux	Régulier	Plate	+	+	+
ED14-2'	Bacille	+	+	+	Crémeux	Régulier	Plate	+	-	+
ED14-2''	Bacille	+	+	-	Crémeux	Régulier	Plate	+	-	+
S26i	Cocci	+	+	-	Crémeux	Régulier	Plate	+	+	+

BorCol : Bordure colonie, SurfCol : Surface colonie, Trans.L : Translucidité.

L'analyse microscopique montre que toutes les souches de bactérie isolées sont de gram+ et mobiles. 10% des souches sont des Cocci et 90% des bacilles. Seules 20% des souches ont produit des spores à 48 h d'incubation. 87,77% des souches ont présenté une réaction positive à l'oxydase contre 96,67 % de positivité à la réaction de catalase.

III. DISCUSSION

Cette étude préliminaire a montré que l'eau de la mare de Demba TT contient des microorganismes, surtout des bactéries à Gram positif qui sont toutes mobiles. Les facteurs qui concourent pour la présence uniquement de bactéries à Gram + dans cette eau méritent d'être connus. L'alcalinité et/ou la salinité de l'eau peut être un facteur limitant pour le développement de certains microorganismes, tels des parasites (Louah, 1995) et ou même des bactéries à Gram négatif. Le pH de cette eau est pratiquement basique, et on note la présence d'une substance blanchâtre, du sel à la surface du sol dans les zones où l'eau s'est retirée. Ces deux aspects pourraient expliquer le non développement des bactéries à Gram négatif. Dans la nature, les eaux de surface (marigots/baignade) sont généralement contaminées par les microorganismes d'origine fécale humaine ou animale qui sont du genre *Escherichia* (*E. coli* pathogène), *Salmonella*, *Campylobacter* (*C. jejuni* et *coli*), *Klebsella*, *Enterobacter*, *Yersinia* (*Y. enterocolitica*) *Shigella* (*S. sonnei* et *flexneri*), ainsi que certains protozoaires tels que *Entamoeba histolytica*, *Cryptosporidium parvum* et *Giardia Lamblia*, qui les rendent impropres à toute utilisation en provoquant des diarrhées aiguës ou chroniques. Or apparemment cette eau n'est pas dangereuse pour les hommes, car la population locale en consomme jusqu'à plus d'1 litre par jour sans danger. La caractérisation définitive des souches de bactéries isolées, l'identification des parasites, la composition

en nitrate et les caractéristiques physico-chimiques de l'eau doivent être claires pour fournir toutes les informations sur la mare afin d'élucider le mystère qui l'entoure. Il a été noté par beaucoup d'auteurs l'impact des activités humaines comme l'agriculture qui influe négativement sur la qualité microbiologique des eaux des lacs, des marigots et des mares (Réné, 1968 ; El Haite, 1991 et Azzaoui et al, 2002). Or l'utilisation de substance chimique autour de cette mare n'est pas aussi élevée. Au contraire la population utilise plus le fumier organique provenant des animaux. Des souches de *Bacillus thuringiensis* ont pu être isolées dans la boue de la mare de Demba TT. L'ADN de chacune de ces colonies a été extrait pour une amplification des gènes cry1B, cry1C et cry2 par des amorces spécifiques. La présence de ces gènes est confirmée par la technique d'électrophorèse sur gel d'agarose. Les gènes cry1C et cry1B sont observés chez toutes les souches de Bts isolées à Demba, montrant des allèles différents. Le gène cry1C a présenté deux allèles de tailles 450 et 500 pb, et est moins diversifié que cry1B qui a révélé plusieurs allèles et plus diversifié allant de 130 à 750 pb. Ce degré de polymorphisme pour le gène cry1B était comparable aux résultats de Fané et al, (2015). Par contre le gène cry1C n'est pas beaucoup diversifié dans cette étude, cela pourrait être expliqué par la taille de l'échantillon. Soixante pour cent des échantillons de Demba porte le gène cry2 et est aussi plus diversifié sur le plan génétique. Les allèles de cry2 varient

entre 120 et 775 pb. Le gène cry2 a présenté un nouveau profil (120 pb) non mentionné par Valicente et al, (2010). Cette étude prouve que des *Bacillus thuringiensis* existent dans cette eau et mérite une attention particulière afin d'approfondir l'étude sur la recherche d'autres types de *Bacillus*, d'autant plus que la population riveraine l'accorde une grande importance pour des soins médicaux. Les propriétés insecticides et ou antibactériennes doivent être prouvées scientifiquement par des tests, surtout que certaines études ont montré des types de résistance dus à l'absence de récepteurs dans l'intestins de certains insectes pour les toxines produites par les Bts, Salvador *et al*, (2005). Il faut sans doute noter l'absence de prolifération d'insectes abondamment et de vies biologiques autour du point d'eau.

IV. CONCLUSION

Ces résultats préliminaires montrent que l'eau de la mare de Demba TT contient des bactéries à Gram + et mobiles. Des souches de *Bacillus thuringiensis* ont pu être isolées et ont été identifiées par la technique de PCR. Les gènes cry1B, cry1C et cry2 ont été retrouvés dans les souches. Toutes ces souches portent le gène cry1C présentant deux allèles 400 et 500 pb, ce qui note une faible variabilité de ce gène dans cette étude. Par contre les gènes cry1B et cry2 ont présenté une variation génétique plus importante. Les études seront poursuivies pour mettre en évidence tous les constituants et toutes les qualités de cette eau.

Bibliographie

- [1] Azzaoui S ; El Hambali M ; Leblanc M; (2002). Copper, Lead, Iron, and Manganese in the Sebou drainage basin; Source and impacts of surface water quality. Water quality Research Journal Canada. 37(4). 773-784.
- [2] Cerón, J., Ortiz, A., Quintero, R., Güereca, L., Bravo, A. (1995). Specific PCR primers to identify cryI and cryIII genes within a *Bacillus thuringiensis* strain collection. Applied and Environmental Microbiology 61, 3826–3831.
- [3] De Maagd, RA., Bravo, A. and Crickmore, N. (2001). How *Bacillus thuringiensis* has evolved specific toxins to colonize the insect world. *Trends Genetics*, vol. 17, p. 193-199. [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9525\(01\)02237-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9525(01)02237-5).
- [4] El Haite H. (1991) Eléments de réponse pour une meilleure maîtrise des pollutions et gestion des eaux usées à Fés. Thèse de Doctorat es Sciences. Université Moulaye Ismail, Meknés, Maroc.
- [5] Fané, R., Traoré, D., Babana A.H., Kassogué A., Dicko, H. A1, Valicente F.H. : Diversité génétique des souches de *Bacillus thuringiensis* (Bt) isolées des sols de différentes localités du Mali (in press).
- [6] Fiuza, LM, Schünemann, R, Pinto, LMN and Zanettini, MHB (2012): Two new Brazilian isolates of *Bacillus thuringiensis* toxic to *Anticarsia gemmatilis* (Lepidoptera: Noctuidae), Braz. J. Biol., 2012, vol. 72, no. 2, p. 363-369.
- [7] Louah MA, (1995). Ecologie des Culicidae (Diptères) et état du paludisme dans la péninsule de Tanger. Thèse d'Etat Es-Sciences. Fac. Sc. Tétouan, p 266.
- [8] Moudallal S. Les ressources hydrauliques au Liban. 1re éd., Dar el Fekr el Arabi (Éditeur), 1997. Beyrouth, Liban, 62 p.
- [9] René C. (1968). La pollution des eaux. Edition que sais-je ? N° 983

Une meilleure lecture du tensiomètre à eau pour sol

Mamadou SANGARÉ

Ingénieur agronome spécialisé en irrigation et drainage à l'IPR/IFRA de Katibougou

Adresse de correspondance : mamadoudanceni@gmail.com

RESUME : Ce thème « Une meilleure lecture du tensiomètre à eau » fait suite à une précédente étude intitulée « Nouvelle expression du coefficient de filtration du sol » (présentée lors du symposium MSAS agriculture 2014). C'est à la faveur de la théorie développée dans cette communication, que nous avons essayé de démontrer le lien qui existe entre la valeur de la tension de l'eau du sol lue « en centibars » sur le tensiomètre à eau et celle réelle « en bars » in situ.

Nous avons alors développé une formule permettant de calculer la baisse de niveau d'eau ou déficit de lame d'eau du tensiomètre à eau ; pour la circonstance, des expressions de profondeurs de bulbe pour les différents points essentiels (point de flétrissement, point lento-capillaire et capacité au champs), celles de taux d'humidités différents entre ces points essentiels (humidité disponible et porosité effective du sol), y compris les expressions de leurs tensions respectives ont été exploitées. Après calculs, nous avons pu établir les liens de proportionnalité entre ces trois grandeurs ; et ainsi, il devenait possible de traduire le déficit de lame d'eau calculée en tension et aussi de prévoir la répartition de l'humidité dans le profil d'un sol homogène. Donc pour la bonne lecture de l'humidité du sol à l'aide du tensiomètre à eau, il suffit d'élaborer un repère où chaque type de sol a son ordonnée (en bars) de manière à avoir une courbe de tension pour chacun des points essentiels d'humidité.

Cette étude montre que la baisse de niveau d'eau observée lors de la lecture de la tension de l'eau du sol est différente de la véritable tension, mais qu'il existe un lien entre elles.

Mots clés : Tensiomètre à eau, déficit de lame d'eau, dimensions du bulbe humide de sol, humidités remarquables, points essentiels d'humidité.

I. INTRODUCTION

Ce travail est une suite logique de la communication intitulée « Nouvelle expression du coefficient de filtration du sol » (réf. 4). En effet, avec le développement de cette nouvelle expression, nous avons pu montrer la relation entre la dynamique et l'état de l'eau dans le sol. Des expressions d'humidité, de tension d'eau pour chacun des points essentiels d'humidité du sol (hygroscopie maximale, point de flétrissement, point lento-capillaire et capacité au champ) ainsi que celles des dimensions de bulbe humide ont été développées. C'est avec ces différentes expressions que nous avons tenté d'élucider le problème de lecture du tensiomètre à eau ; car les valeurs lues en centibars ne correspondent pas à la réalité.

Beaucoup de recherches ont été effectuées sur le tensiomètre à eau pour sol ; nous pouvons citer entre autres, les travaux de Hammami Moncef, de Daghari Hédi et de Hatira Abdessatar (2011) ; de Godwin de Tatura (2000), et de beaucoup d'autres. Mais malgré les résultats très encourageants des auteurs, le problème de lecture reste entier.

II. DEVELOPPEMENT DE LA THEORIE

Le tensiomètre à eau est un instrument de mesure de la tension de l'eau du sol. Son principe de fonctionnement repose sur l'échange d'humidité entre l'eau contenue dans l'instrument et l'humidité du sol environnant à travers l'interface capuchon poreux/sol. Chaque baisse d'humidité du sol engendre une hausse de tension en son sein provoquant ainsi, une succion de l'eau du tensiomètre vers la zone de sol déficitaire ; le processus continue jusqu'à établissement de l'équilibre des forces entre les deux milieux ; d'où une baisse de niveau d'eau dans le tensiomètre.

2.1. Profondeurs des différentes zones du bulbe humide :

L'une des expressions de la profondeur du bulbe humide « Z » en mètres (réf. 4) est la suivante:

$$Z = 0,42 \cdot 10^{-3} \times \frac{\alpha}{1-\alpha} \times t^{1-\alpha} \times (\ln t)^2 \dots\dots\dots (1)$$

Où « t » est le temps en secondes et « α » est l'exposant de Kostjakov. Cette expression est la profondeur maximale moyenne du bulbe humide ; elle laisse entrevoir une progression de la zone humide de sol en raison de « ln t » ; d'où la possibilité de situer les profondeurs des points essentiels d'humidité. Ainsi de la surface du sol vers

le bas, nous avons tout d'abord le noyau d'émission de profondeur Z_0 avec son extension jusqu'à la profondeur « Z_1 », suivi d'une zone intermédiaire d'humidité capillaire, et pour finir, d'une zone où la quasi-totalité de l'humidité est logée dans les micropores. La profondeur « Z » peut donc s'écrire de la manière suivante :

$$Z = Z_0 \times \ln t \times \ln t = Z_1 \times \ln t \dots\dots\dots (2) \text{ où :}$$

$$Z_1 = Z_0 \times \ln t \text{ la profondeur du noyau.}$$

Mais pour les profondeurs ou diamètres extrêmes, une autre expression de « Z » se prête mieux aux calculs ; elle comporte le coefficient de filtration horizontal ou vertical selon qu'il s'agisse de rétention d'eau pour le premier ou d'eau gravitaire pour le second; les expressions sont les suivantes :

Pour les diamètres :

$$Z_h = \frac{\sqrt{\pi \times Q \times K_h \times \ln t}}{K} \dots\dots\dots (3)$$

Pour les profondeurs :

$$Z_v = \frac{\sqrt{\pi \times Q \times K_v \times \ln t}}{K} \dots\dots\dots (3')$$

Où « Q » est le débit de l'émetteur (en l/h), « K » le coefficient de filtration moyen (en mm/h) et « K_h » le coefficient de filtration horizontal (en mm/h) et K_v le coefficient de filtration vertical (en mm/h).

A mi- profondeur entre le noyau et l'extrémité du bulbe, nous avons une zone où l'humidité est au point lento-capillaire. L'expression de sa profondeur est:

$$Z = \frac{\sqrt{\pi \times Q \times K_h \times \frac{\ln t + 1}{2} + 1}}{K} \dots\dots\dots (4)$$

Et pour la capacité au champ à la limite du noyau, l'expression est la suivante:

$$Z = \frac{\sqrt{\pi \times Q \times K}}{K} \dots\dots\dots (5)$$

2.2. Calcul du déficit de lame d'eau :

Soit « e » la lame d'eau maximale absorbée par le bulbe au point de flétrissement et « e_0 » celle à la limite du noyau; sachant que « ω » est l'humidité

disponible du sol, les lames d'eau respectives contenues à ces deux profondeurs seront:

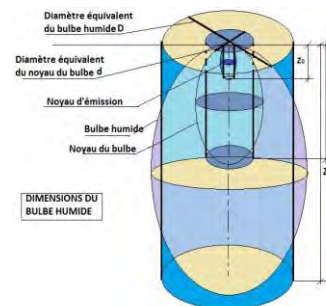
$$e = Z \times \omega \text{ et } e_0 = Z_1 \times \mu \dots\dots\dots (6)$$

Pour que la stabilité du bulbe humide soit établie, l'équilibre des forces est nécessaire en son sein; pour cela, les produits des différentes tensions et de leurs surfaces d'application respectives doivent être identiques. Cela nous emmène à écrire l'équation suivante :

$$\psi \times (\pi \times d \times Z_1) = \psi_0 \times (\pi \times D \times Z) \dots\dots\dots (7)$$

Où : « $\pi \times D \times Z$ » et « $\pi \times d \times Z_1$ » sont respectivement les surfaces latérales du cylindre équivalent du bulbe humide et de celui de son noyau. « Z » et « Z_1 » sont respectivement les profondeurs du bulbe et celle du noyau, et « D » et « d » sont les diamètres, et ψ et ψ_0 sont les pressions (voir figure n°1).

Figure n°1 : Diamètres équivalents du bulbe humide et de son noyau pour un sol hypothétique



Selon les précédentes études (réf. 4) $D/d = 1,8$ en moyenne pour les différents types de sol.

L'expression (7) devient :

$$\frac{\psi}{\psi_0} = 1,8 \times \frac{Z}{Z_1} \dots\dots\dots (8)$$

Et pour « e », on a : $\dots\dots\dots (9)$

$$e = \frac{e_0 \times \psi}{1,8 \times \psi_0}$$

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Le moment le plus propice pour la lecture du tensiomètre à eau est celui où l'équilibre des forces au niveau de l'interface capuchon poreux/ sol environnant est atteint ; et cela ne peut être que si $\psi_0 = \psi$; ainsi l'expression finale du déficit de lame d'eau devient:

$$e_0 = 1,8 \times e = 1,8 \times Z \times \omega \dots\dots\dots (10)$$

En utilisant les données (en surbrillance) du tableau n°1 issues de la précédente communication (réf. 4),

Texture de sol	Fine			Moyenne			Grossière		
d (mm)	28,66			33,66			45,0		
K (mm/h)	17,33			27,5			41,0		
Kv (mm/h)	12,32			22,78			45,8		
Kh (mm/h)	24,38			33,20			36,7		
α	0,6			0,5			0,4		
ω/μ (% vol.)	22,82/11,53			17,45/11,96			12,1/15,10		
Profondeurs /tension/déficit en lame d'eau	Z (m)	ψ (bars)	e (cm)	Z (m)	ψ (bars)	e (cm)	Z (m)	ψ (bars)	e (cm)
Point de flétrissement	1,82	15,6	74,9	2,15	15,1	67,5	2,6	14,9	56,8
Point de capillarité lente	1,36	5,3	55,9	1,61	5,12	50,5	1,95	5,08	42,5
Capacité au champ	0,52	0,21	10,8	0,68	0,21	14,54	0,96	0,22	26,0

Tableau n°1 : Calcul des lames d'eau correspondance avec les tensions et profondeurs respectives

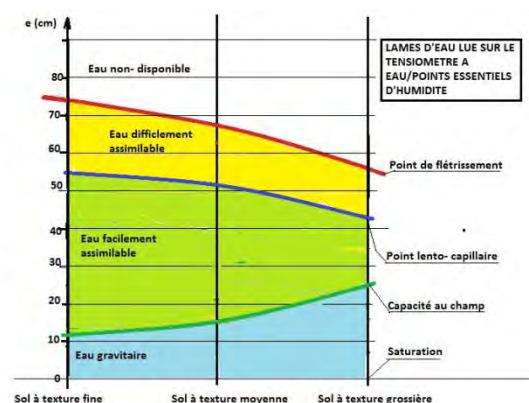
Par rapport à la capacité au champ, le déficit de lame d'eau est consécutif à l'évacuation de l'eau gravitaire ; donc à la place de « e_0 », c'est « e » qui est calculée ; et c'est la porosité d'aération qui remplace l'humidité disponible. La profondeur « Z » est calculée avec le coefficient de filtration moyen ; tandis que les profondeurs des autres points essentiels sont calculées avec K_h .

Dans ce tableau, les valeurs de « e » varient entre 10,0 cm et environ 75,0 cm ; et elles sont similaires à celles en centibars lues habituellement sur le tensiomètre à eau lors des mesures « in situ » comme l'attestent les données de littérature (réf. 2). Une comparaison des valeurs calculées et valeurs de littérature permet de remarquer leur similitude ; ainsi, respectivement des sols à texture grossière aux sols à texture fine, le déficit de lame d'eau pour le point de flétrissement varie entre 56,8 cm et 74,9 cm contre 74,0 cb et plus ; pour le point de flétrissement temporaire, il varie entre 42,5 cm et 55,9 cm contre 40,0 cb à 60,0 cb, et pour la capacité au champ, il varie entre 26,0 cm et 10,8 cm contre 20,0 cb à 10,0 cb.

Par rapport à la lecture du tensiomètre, nous avons essayé d'élaborer un repère avec les données du tableau n°1. Sur ce repère, à la place des déficits de lame d'eau, figurent les tensions d'eau correspondantes pour chaque point essentiel d'humidité et pour chacun des trois types de sol ; en traçant les courbes des points essentiels, il en résulte un diagramme (voir figure n°2) qui permet de lire la tension et de faire une bonne estimation de l'humidité du sol.

l'on obtient les résultats consignés dans le même tableau ; il nous montre ainsi la correspondance entre la tension de l'eau du sol (réf. 4), le déficit de la lame d'eau et la profondeur du bulbe humide.

Figure n°2 : Diagramme du rapport entre le déficit de lame d'eau et les humidités remarquables



Par ailleurs, les valeurs calculées de déficit/stock d'humidité pour les différents types de sol sont comparables aux résultats des travaux réalisés par Godwin et Tatura (3) ; les valeurs sont de même ordre de grandeur. L'expression utilisée pour le calcul du stock d'humidité est la suivante :

$$\Delta \omega = \frac{\omega_{fa}}{\omega} \times 100 \dots\dots\dots (11)$$

L'expression du déficit est donc :

$$D = 100 - \Delta \omega \dots\dots\dots (12)$$

Ici ω est l'humidité disponible (réf. 4) :

$$\omega = 2,78 \times 10^5 \times K_h \times t \times \sqrt{\frac{K \times \ln t}{Q \times \pi}} \dots (13)$$

Et ω_{fa} est l'humidité utile (réf. 4) :

$$\omega_{fa} = 2,78 \times 10^5 \times K_h \times t \times \sqrt{\frac{K \times \frac{\ln t + 1}{2} + 1}{Q \times \pi}} \dots (14)$$

Q est le débit (en l/h) ; K, et K_h sont respectivement les coefficients de filtration moyen et horizontal.

Tableau n°2 : Stock et déficit d'humidité dans le sol au point de capillarité lente.

D'après le tableau n°2, la valeur moyenne de stock d'humidité du sol calculé, soit 57,78 %, est semblable à celle de Goldwin et Tatura, qui est de

Texturee de sol	Grossièr. à moyen.	Moyen ne	Fine à moyen.	Fine
Stock restant /déficit calculé (%)	41,62 (58,37)	41,80 (58,20)	43,45 (56,55)	42,01 (57,99)
Stock restant/déficit Selon Goldwin et Tatura (%)	48,82 (51,18)	39,20 (60,8)	40,42 (59,6)	27,95 (72,05)

62,5 % ; les deux taux concordent bien avec les taux d'humidité utile des sols courants variant entre 50% et 66,66 %.

IV. CONCLUSION

Les résultats obtenus attestent à suffisance que les valeurs lues sur le tensiomètre à eau sont plutôt des déficits de lame d'eau que des tensions. Et pour une

meilleure lecture du tensiomètre à eau, nous avons pu établir le lien entre la baisse de niveau d'eau du tensiomètre et la tension réelle de l'eau du sol.

Etant donné l'existence de ce lien, il serait beaucoup plus judicieux d'utiliser en lieu et place des graduations actuelles de tensiomètres en centibars, d'utiliser un repère où les déficits de lame d'eau seront traduits en tensions correspondantes ; et cela en fonction des points essentiels d'humidité et des types de sol.

Par ailleurs, ces résultats viennent davantage confirmer théorie de la précédente communication sur l'état et la dynamique de l'eau du sol. Il est à noter que cette théorie permet de dresser la courbe de sorption du sol.

REFERENCES

- [1] Hammami Moncef, Daghari Hédi and Hatira Abdessatar : An Empirical Concise Approach to Predict the Maximal Wetted Soil Depth under Trickle Irrigated Crops, American-Eurasian J. Agric. & Environ. Science, IDOSI Publications, 2011
- [2] Daniel Bergeron, 2005, Interprétation des lectures du tensiomètre en irrigation par aspersion, adapté de Stegman et coll 1980
- [3] Goodwin et Tatura (September 2000; reviewed in November 2009), Future Farming Systems Research.
- [4] Mamadou Sangaré : Une nouvelle expression du coefficient de filtration du sol, Communication au symposium de MSAS Mali, 2014.

Evaluation de la qualité microbiologique de l'environnement dans un laboratoire de microbiologie candidat à l'accréditation

SAMAKE Salimatou^{1*}, SAMAKE Fassé², BABANA Amadou Hamadoun²,
TRAORE Diakaridia²

¹Laboratoire National de la Santé

² Laboratoire de recherche en Microbiologie et en Biotechnologie microbienne, Faculté des Sciences et Techniques, Université des Sciences et des Techniques et des Technologies de Bamako

*Adresse de correspondance : samake_salimatou@yahoo.fr

RESUME : La qualité microbiologique de l'environnement de deux laboratoires de contrôle de qualité microbiologique des produits agroalimentaires, le premier en voie d'accréditation et le second non en voie d'accréditation a été évaluée.

Au total, 120 échantillons ont été analysés dont 45 échantillons de surfaces prélevés par écouvillonnage et 15 échantillons d'air prélevés à l'aide d'un biocollecteur contenant de l'eau physiologique stérile dans chaque laboratoire, pendant trois mois. Les résultats obtenus montrent que les normes assignées en qualité microbiologique n'étaient pas atteintes dans les deux laboratoires, cependant celles du candidat à l'accréditation étaient deux fois plus proches des normes de l'accréditation que le laboratoire Non en Voie d'accréditation.

Mots clés : Évaluation, Qualité microbiologique, Environnement, Laboratoire de microbiologie, Accréditation.

I. INTRODUCTION

En Afrique, beaucoup de laboratoires font le contrôle de qualité microbiologique des denrées alimentaires, cependant, pour que les résultats fournis par ces laboratoires soient valables, il faut qu'ils remplissent certaines conditions des normes internationales. La fiabilité des résultats d'essais microbiologiques est d'une part liée aux personnels qualifiés, à la qualité des matériels, d'autre part très étroitement à l'environnement (air, toutes surfaces intervenant directement à la réalisation de l'essai). La contamination microbienne atmosphérique était constituée surtout par des bactéries et moisissures, rarement les levures et plus rarement les germes pathogènes (Hartemann, 2004).

Le seul respect des critères microbiologiques sur un échantillon ne peut garantir sa qualité à la fin de l'essai, il va de paire avec l'assurance de l'application des bonnes pratiques d'hygiène en matière de l'environnement d'essais (Pierre, 2005). Selon AFNOR, les sols, les murs, les plafonds, et les mobiliers de laboratoire d'essais doivent être régulièrement entretenus afin d'éviter l'apparition de défauts de continuité qui créent des zones d'encrassement privilégiée et sont donc sources de contamination.

Les principes régissant les exportations des produits agroalimentaires des pays en développement vers l'UE, font intervenir quatre éléments indispensables dont la crédibilité du contenu technique des contrôles. De ce fait le « programme qualité UEMOA », développé par l'UEMOA en partenariat avec l'UE et l'ONUDI a apporté un soutien appréciable pour le

renforcement des activités de normalisation, d'accréditation des laboratoires et de certification des entreprises des pays membres (Mouillet, 2010). Cette accréditation qui n'est autre que l'ensemble des caractéristiques et des activités qui confèrent à un laboratoire à fournir des produits ou services satisfaisant aux exigences de la qualité.

La présente étude avait pour but d'évaluer les risques de contamination afin de gérer ces risques de manière adaptée et cohérente. Il s'agissait, d'évaluer le degré de maîtrise de la qualité microbiologique de l'environnement de deux laboratoires de microbiologie alimentaire, le premier en voie d'accréditation et le second qui n'est pas en voie d'accréditation.

II. MATERIEL ET METHODES

2.1 Prélèvement des échantillons pour contrôle microbiologique de surfaces

Le prélèvement a été réalisé par la méthode d'écouvillonnage. L'écouvillon préalablement trempé dans une solution de 5ml d'eau physiologique stérile à 1/1000 a été utilisé pour nettoyer une surface élémentaire de 20cm². L'écouvillon a été ensuite immédiatement mis dans son étui, le tout placé dans la glace pour être enfin transporté. Une fois au laboratoire, les échantillons ont été directement enregistrés et immédiatement analysés.

2.2 Prélèvement des échantillons pour contrôle microbiologique de l'air

Un biocollecteur (Air Pollution Sampling & Measurement de marque LaMotte) a été utilisé pour le prélèvement des échantillons d'air des laboratoires. Le prélèvement a consisté à aspirer 1000 cm³ d'air ambiant du laboratoire à travers de l'eau physiologique contenue dans l'appareil à une vitesse de 2L/min. L'échantillon ainsi constitué des microorganismes du volume d'air aspiré en suspension dans l'eau physiologique, a subi deux dilutions décimales successives avant d'être analysé.

2.3. Préparation et analyse des échantillons

Dans toutes les dilutions des échantillons, les germes aérobies mésophiles totaux, levures et moisissures, coliformes totaux, staphylocoques dorés ont été recherchés et dénombrés.

2.3.1 Germes aérobies mésophiles totaux

Dans toutes les dilutions des échantillons, 1ml a été déposé au fond de deux boîtes de Pétri, puis 15 ml de milieu PCA a été coulés en surface, bien homogénéisé par des mouvements rotatoires et séché, puis une seconde couche de PCA a été coulée et séchée à la température du laboratoire avant d'être incubée. Toutes les boîtes ont été incubées renversées pendant 72 heures dans l'étuve de 30°C (NF EN ISO4833 : 2003).

2.3.2 Coliformes totaux

De toutes les dilutions des échantillons, 1ml a été déposé au fond de deux boîtes de Pétri, puis un volume 15 ml de milieu Agar au violet cristallisé au rouge neutre et à la bile (VRBL) en a été coulé et bien homogénéisé par des mouvements rotatoires et séché, puis une seconde couche de VRBL a été coulée et séchée à la température du laboratoire avant d'être incubée. Les boîtes ont été incubées pendant 24 heures dans l'étuve à 30°C, (NF ISO 4832 : 2006).

2.3.3 Staphylocoques dorés

Comme précédemment, 0,1ml a été déposé à la surface du milieu de culture Bair Parker au jaune d'œuf et au tellurite de potassium de chaque boîte de Pétri correspondant, bien étalée à l'aide d'un étaleur puis laissée à la température du laboratoire avant d'être incubée renversée pendant 48 heures dans l'étuve de 37°C, selon la norme NF V08 057 : 2009.

3.5.4 Levures et Moisissures

De la façon, 0,1ml des échantillons a été déposé à la surface de la gélose glucosée au chloramphénicol de chaque boîte de Pétri, bien étalée à l'aide d'un étaleur puis séchée à la température du laboratoire avant d'être incubée renversée à 25°C pendant 72h à 120h, selon la norme NF VO8 059 : 200

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Résultats :

3.1.1 Qualité des surfaces au LVA :

Tableau 1: Concentrations moyennes sur les surfaces au LVA comparées à la norme:

Paramètres	CMM/S (UFC/25 cm ²)	Norme (UFC/25cm ²)
GAM	42,67	25
L/M	37,56	25
CT	10,00	25
Staph	10,00	25

CMM/S : Concentration Moyenne Microbienne sur surface

UFC : Unité Formant Colonies

GAM : *Germes Aérobie Mésophiles*

L/M : *Levures Moisissures*

CT : *Coliformes Totaux*

Staph : *Staphylococcus aureus*

Cfté : Conformité

Nb : nombre

Ech : échantillon

Au LVA niveau surfaces, les concentrations moyennes obtenues par rapport aux *Germes Aérobie Mésophiles Totaux* et *Levures /Moisissures* sont nettement supérieures aux concentrations normales requises, celles obtenues par rapport aux *Coliformes totaux* et aux *Staphylococcus aureus* sont en dessous de la norme.

Tableau 2: pourcentage de conformité au LVA sur les échantillons de surfaces analysés.

Paramètres	Nb/Ech	% de Cfté
GAM	45	84
L/M	45	84
CT	45	100
Staph	45	100

Le taux de non-conformité au niveau des surfaces au LVA est très inférieur rapport à tous les paramètres testés et même nul pour les *Coliformes totaux* et les *Staphylococcus aureus*.

3.1.2 Qualité de l'air au LVA :

Tableau 3 : Concentrations moyennes des germes dans les échantillons d'air du LVA comparées à la norme.

Paramètres	CMM/A (UFC/1000 cm ³)	Norme (UFC/1000cm ³)
GAM	10,73	15
L/M	10,67	15
CT	10,00	15
Staph	10,00	15

Au LVA, par rapport à l'air les concentrations moyennes obtenues sont nettement inférieures à la norme requise pour tous les paramètres recherchés.

Tableau 4 : Pourcentage de conformité des échantillons d'air soumis à l'essai au laboratoire en voie d'accréditation.

Paramètres	Nb/Ech	% de Cfté
GAM	15	100
L/M	15	100
CT	15	100
Staph	15	100

Le taux de non-conformité au niveau de l'air est très faible au LVA pour tous les paramètres et même nul pour les *Coliformes totaux* et les *Staphylococcus aureus*

3.1.3 Qualité des surfaces au Laboratoire non en voie d'accréditation :

Tableau 5 : Concentrations moyennes des germes dans les échantillons de surfaces du laboratoire non en voie d'accréditation et la norme.

Paramètres	CMM/S (UFC/25 cm ²)	Norme (UFC/25 cm ²)
GAM	128,22	25
L/M	45,78	25
CT	15,56	25
Staph	10,67	25

LNVA, les concentrations moyennes obtenues au niveau des surfaces par rapport aux *germes aérobies mésophiles totaux* et *levures moisissures* sont de très loin supérieures aux concentrations normales recommandées, par contre, celles obtenues par rapport aux *Coliformes totaux* et les *Staphylococcus aureus* sont en dessous de la norme.

Tableau 6 : Pourcentage de conformité des échantillons de surface au laboratoire non en voie d'accréditation.

Paramètres	Nb/Ech	% de Cté
GAM	45	71
L/M	45	71
CT	45	93
Staph	45	92

Le taux de conformité au niveau des surfaces du LNVA est supérieur par rapport à tous les paramètres testés.

3.1.4 Qualité de l'air au laboratoire non en voie d'accréditation:

Tableau 7: Concentration moyenne des germes dans les échantillons d'air du laboratoire non en voie d'accréditation et la norme.

Paramètres	CMM/A (UFC/1000 cm ³)	Norme (UFC/1000 cm ³)
GAM	50,67	15
L/M	42	15
CT	10,67	15
Staph	10	15

Au LNVA, par rapport à l'air les concentrations moyennes obtenues sont nettement supérieures à la norme requise par rapport aux *Germes Aérobies Mésophiles Totaux* et *Levures /Moisissures* et inférieures par rapport aux *Coliformes totaux* et *Staphylococcus aureus*

Tableau 8 : Pourcentage de conformité des échantillons d'air au laboratoire non en voie d'accréditation.

Paramètres	Nb/Ech	% de Cté
GAM	15	60
L/M	15	60
CT	15	93
Staph	15	100

Le taux de non-conformité au niveau de l'air est faible au LNVA pour tous les paramètres et même nul pour les *Staphylococcus aureus*.

3.1.5 Qualité comparée de l'environnement des laboratoires en voie d'accréditation et laboratoire non en voie d'accréditation:

Tableau 9 : Pourcentage de conformité des échantillons de surface et d'air soumis à l'essai au laboratoire en voie d'accréditation et au laboratoire non en voie d'accréditation.

	LVA		LNVA	
Paramètre	Surfaces	Air	Surfaces _N	Air _N
S	A	A	A	A
GAM	0,16	0,13	0,29	0,4
LM	0,16	0,07	0,29	0,07
CT	0	0	0,07	0
STAPH	0	0	0,02	0

Surface_A : surface du laboratoire en voie d'accréditation.

Air_A : Air du laboratoire en voie d'accréditation.

Surface_{NA} : surface du laboratoire en non voie d'accréditation.

Air_{NA} : Air du laboratoire non en voie d'accréditation.

Par rapport aux surfaces et pour chaque germé, nous constatons qu'il existe une différence significative entre les concentrations microbiologiques dans les deux laboratoires.

Par rapport à l'air, cette différence persiste seulement au niveau des Germes Aérobie Mésophiles Totaux, cependant pour les autres germes les concentrations microbiologiques sont les mêmes.

IV. DISCUSSION

Au laboratoire en voie d'accréditation, nous avons apprécié la qualité microbiologique de l'environnement d'essais.

Les échantillons de surface analysés ont donné concentrations moyennes de 42,67 UFC/25 cm²; 37,56 UFC/25 cm² (supérieures à la norme); 10 UFC/25 cm²; 10 UFC/25 cm² et un taux moyen microbiologique de 0,16; 0,16; 0; 0 pour respectivement les paramètres germes aérobies mésophiles, levures moisissures, coliformes totaux et staphylocoques.

Ces concentrations sont pour les germes aérobies mésophiles et les levures et moisissures supérieures à la norme cependant, les taux obtenus par ces analyses ont tendance à joindre ceux de Duffaye et Al., (1992) pour leur second contrôle de qualité des surfaces des hottes à flux d'air laminaire utilisées pour la préparation de médicaments injectables, Cependant avec une méthode différente utilisée, les taux microbiologiques obtenus sont inférieurs à ceux obtenus par Maia et All (2008), avec un taux moyen de contamination de 0,4 au niveau des surfaces du local des préparations dans la radio pharmacie au Centre Hospitalier Universitaire de Tours.

Les échantillons d'air analysés ont donné des concentrations moyennes 10,73 UFC/1000 cm³; 10,67 UFC/1000 cm³; 10 UFC/1000 cm³; 10 UFC/1000 cm³ toutes inférieures à la norme et des taux microbiologiques moyens de 0,13; 0,07; 0; 0 pour respectivement les germes aérobies mésophiles, les levures et moisissures, les coliformes totaux et les staphylocoques,

Ces résultats d'air obtenus ont donné des taux moyens aussi comparables à ceux de Duffaye et All (1992), avec la même méthode utilisée ils sont différents de ceux de CHAARI-CHEBEL *et al.*, (2007), qui ont obtenu des résultats d'échantillons d'air à plus de 90% non conforme dans les blocs opératoires du centre hospitalier universitaire de Monastir (Tunisie).

Au Laboratoire Non en Voie d'Accréditation, nous avons apprécié la qualité microbiologique de l'environnement d'essais.

Les échantillons de surface analysés ont donné des moyennes microbiologiques de : 128,22 UFC/25 cm²; 45,78 UFC/25 cm²; 15,56 UFC/25 cm²; 10,67 UFC/25 cm²; et un taux moyen microbiologique de 0,29; 0,29 0,07; 0,02 pour respectivement les paramètres germes aérobies mésophiles, levures moisissures, coliformes totaux et staphylocoques.

Les moyennes obtenues par ces résultats de surface sont largement supérieures à la norme requise et les

taux moyens ont tendance à joindre ceux de Duffaye et All (1991) pour leur premier contrôle de qualité des surfaces des hottes à flux d'air laminaire utilisées pour la préparation de médicaments injectables.

Ces résultats de surface diffèrent aussi de ceux trouvés par MAIA et All (2008)

Les échantillons d'air analysés ont donné des concentrations moyennes égales à 50,67 UFC/1000 cm³, 42 UFC/1000 cm³, 10,67 UFC/1000 cm³, 10 UFC/1000 cm³ et un taux microbiologique moyen de 0,4; 0,07; 0; 0 pour respectivement les germes aérobies mésophiles, les levures moisissures, les coliformes totaux et les staphylocoques.

Avec les mêmes méthodes utilisées, nos résultats d'échantillons d'air analysés diffèrent de ceux de Chaari-Chebel *et al.*, (2007), qui ont obtenu des résultats d'échantillons d'air à plus de 90% non conforme dans les blocs opératoires du centre hospitalier universitaire de Monastir (Tunisie), et les concentrations moyennes restent supérieures aux normes

Ces différences peuvent s'expliquer d'une part par l'insuffisance du traitement d'air dans les blocs opératoires de l'hôpital de Monastir comme l'a mentionné l'auteur et d'autre part le nombre d'échantillons traités,

Avec une méthode de prélèvement différente de la notre les taux moyens d'air au laboratoire en voie d'accréditation et laboratoire non en voie d'accréditation joignent ceux de Bussières et al. (2006) qui ont obtenu 0,06 comme taux moyen microbiologique sous la hotte de préparation stérile dans le secteur d'hémato-oncologie dans un centre hospitalier de soins tertiaires au Québec.

V. CONCLUSION

Aux vues des résultats, cette étude nous a permis de conclure qu'au laboratoire en voie d'accréditation la concentration microbiologique recommandée par l'accréditation pour la bonne qualité n'est pas encore atteinte : 42,67 UFC/25 cm² et 37,56 UFC/25 cm² pour respectivement germes aérobies mésophiles et levures et moisissures. Cependant, on peut dire que le laboratoire est pleinement imprégné dans la démarche qualité vers l'accréditation de son unité de microbiologie alimentaire (80% et 100%) de conformité ainsi l'application parfaite des protocoles de nettoyage et son amélioration continue permettront d'atteindre rapidement cette valeur

Au laboratoire non en voie d'accréditation, la concentration recommandée est d'être atteinte 128,22 UFC/25 cm²; 45,78 UFC/25 cm², cependant les taux moyens de conformité obtenus sont encore bien supérieurs, ainsi une bonne et parfaite application des protocoles de nettoyage et son amélioration continue permettront à ce laboratoire d'être dans la norme.

REFERENCES

- [1] Hartemman P., 2004. Qualité de l'Air au bloc Opératoire (Recommandations d'experts), Société Française d'Hygiène Hospitalière. PP 43.
- [2] Pierre O., 2005. Les critères microbiologique, (bureau de sécurité) 36^{ième} colloque A AgriM Média « Traçabilité et «Hygiène Alimentaire « 31 mars 2005, PP15
- [3] Mouillet L., 2010. Organisation des nations Unies pour le développement Industriel, programme Qualité, Phase 2.
- [4] Dufay L. M, Noirez V, Hoffman M., 1994. Les contrôles de qualité des hottes à flux d'air laminaire : Evaluation de la qualité microbiologique. Pharmacie hospitalière française, SYNPREFH, Paris France (1967-2003) N°110, PP 437-446, 12 réf
- [5] Chaari-Chebel N, Khalfallah T, Henchi M.A, Hadded M.S, Kadri Y, Behir N, Akrouit M, 2007. Evaluation de la qualité microbiologique de l'air aux blocs opératoires de l'hôpital universitaire de Monastir. Hygiène Vol 15, n°3 2007/09, PP 237-242, 13 réf., ISSN 1249-0075, FRA. Centre d'Analyse en Milieu Environnemental du 6-
- [6] QUEBEC, 2011. Grille d'Evaluation en Microbiologie, Programme d'accréditation des laboratoires d'Analyse. Edition 3.
- [7] Bussièrès J. F, D Larocque, S. Prot-Labarthe, 2006. Mise en place d'un protocole de validation microbiologie en héματο-oncologie. Pharmactuel Vol. 39 N° 4 Août - Septembre 2006
- [8] Maia. S, Nicol. B, Roleau A, Guilloteau D, Der Mee-Marquet. N., 2008. Contamination microbiologique en radio pharmacie : problématiques et mise en œuvre de contrôles dans le cadre d'une démarche qualité Vol 43, N° 172- pp. 11-17

Effet du feu et de la pâture sur la végétation des formations savaniques suivant le gradient climatique au Mali

Siriki FANE¹, Moussa KAREMBE^{1*}, Fadiala DEMBELE², Hanan NIALLO³

¹Faculté des Sciences et Techniques, Université de Bamako

²Institut Polytechnique Rural de Formation et de recherche Appliquée de Katibougou

³Geographic Information Science Center of Excellence, South Dakota State University, Brooking

* Adresse de correspondance : mkarembé@yahoo.fr

RESUME : La présente étude est une contribution à l'amélioration de la connaissance sur la dynamique des formations savaniques sous l'influence des perturbations anthropiques et du climat. Pour ce faire, un dispositif expérimental a été implanté dans les bioclimats où sont rencontrées les savanes au Mali. Il s'agit du sahélien-sud, du soudanien-nord, du soudanien-sud et du guinéen-nord. Les facteurs étudiés sont le feu et la pâture avec deux niveaux de variation chacun.

Il ressort de la présente étude que la richesse et la diversité floristique sont corrélées avec le gradient climatique et varient en fonction des pratiques de feu et de pâture. Il a été recensé 284 espèces végétales dont 183 herbacées et 101 ligneuses qui appartiennent à 71 familles botaniques. La composition floristique varie selon le bioclimat. Les recouvrements des différentes strates de la végétation varient suivant le gradient climatique et les pratiques de feu et pâture. La production de biomasse ligneuse est bien corrélée avec le gradient climatique. Elle est plus importante dans les bioclimats aux précipitations élevées que moins élevées.

Il serait intéressant de suivre, sur le long terme, cette expérimentation pour mieux cerner le fonctionnement des savanes dans le contexte du changement climatique et de développement durable.

Mots clés : Végétation, feu, pâture, gradient climatique, Mali.

I. INTRODUCTION

Le Mali est un pays continental de l'Afrique de l'Ouest. Il couvre une superficie de 1 241 238 km², avec des distances considérables du nord au sud (1500 km) et d'est en ouest (de 1800 km). Il est traversé par quatre biomes qui sont le saharien, le sahélien, le soudanien et le guinéen. Les formations végétales de ces biomes surtout savaniques sont annuellement décimées par les feux de brousse (Dembélé, 1996 ; Le Floch et al, 2000 ; Fané, 2012). La superficie brûlée chaque année, entre septembre et mars, se chiffre à environ 9 191 400 ha selon une évaluation à partir des images SPOT de 1987 à 1990 (MEA, 2006). Cette superficie brûlée varie en fonction des zones bioclimatiques. Elle est de 2 539 400 ha en zone sahélienne Sud, de 2 620 400 ha en zone soudanienne Nord, de 2 417 300 ha en soudanienne sud et de 1 616 200 ha en zone pré guinéenne. En plus du feu, les parcours de ces écosystèmes sont surexploités par la pratique du système d'élevage extensif et de prestige (Karembé et al, 2014 ; Oss, 2006 ; Karembé, 2001).

Aussi, à l'instar des autres pays membres du Comité inter états de lutte contre la sécheresse au Sahel (CILSS), le Mali a subi les effets des changements climatiques des dernières décennies et reste vulnérable. La survie des écosystèmes savaniques est fonction de leur capacité d'adaptation et de résilience

aux effets des différents facteurs écologiques (Godron, 1984 ; Maïga, 1999 ; Floret et Pontanier, 2000).

Vu l'importance socio-économique des ressources végétales dans la vie de nos populations et les agressions anthropiques auxquelles elles sont soumises, nous avons le devoir de cerner leur fonctionnement pour mieux les gérer. C'est dans ce cadre qu'il a été initié la présente étude qui a pour objectifs – (i) évaluer l'effet des pratiques de feu et de la pâture sur la diversité floristique spécifique des formations savaniques le long du gradient climatique au Mali – (ii) évaluer l'effet du feu et de la pâture sur la structure et la production de ces formations suivant le gradient climatique.

II. Matériel et méthodes

2.1. Choix des sites d'étude

Pour mieux cerner les effets combinés du feu et de la pâture sur le fonctionnement des écosystèmes de savanes au Mali, il a été retenu un transect le long du gradient climatique (Maman, 2010). Au total, cinq sites ont été choisis aux pluviométries variant entre 400 à 1400mm de pluie. Il s'agit : i) du site Korokodjo dans le bioclimat sahélien avec 400mm en moyenne (cercle de Nioro du Sahel), ii) du site de Lakamané dans le bioclimat soudanien nord avec 600mm (cercle de Diéma), iii) du site de Négoula dans le bioclimat soudanien sud avec 1000mm de pluviométrie moyenne annuelle (cercle de Kati), iv)

du site de Tiorola dans le bioclimat guinéen nord avec 1200mm (cercle de Bougouni) et v) du site de Tiendaga plus au sud toujours dans le guinéen nord avec 1400mm de pluviométrie moyenne annuelle (cercle de Kolondjiéba).

Dans chaque site 16 parcelles unitaires ont été retenues. La surface d'une parcelle unitaire est de 2500 m², soit 50 m X 50 m. La superficie totale d'un dispositif sur chaque site est de 4 ha dont 2ha clôturés et 2ha non clôturés.

2.2. Evaluation de la diversité floristique spécifique dans les sites

La méthode d'inventaires phytoécologiques a été adoptée pour déterminer la composition et la diversité de la végétation. Cet inventaire tient compte de la strate ligneuse et de celle herbacée dans chaque site d'étude.

Pour l'inventaire de la flore herbacée, il a été adopté la méthode d'aire minimale (Daget et Poissonet, 1971). Ainsi, dans chaque parcelle unitaire un échantillon représentatif couvrant une superficie de 16 m² qui correspond à l'aire minimale (8 m x 2 m) dans nos zones d'étude (Karembé, 2001 ; Karembé et al., 2009) a fait l'objet de recensement. Pour la flore ligneuse, le recensement a concerné l'ensemble de la surface de chaque parcelle unitaire, c'est-à-dire les 2 500m². Il a été attribué à chaque espèce végétale (ligneuse et herbacée) rencontrée un coefficient d'indice d'abondance dominance selon l'échelle de Braun Blanquet (Gounot, 1969). Pour évaluer la diversité spécifique des différentes formations étudiées, il a été utilisé l'indice de diversité de Shannon (1948).

Indice de diversité : $H = -\sum P_i \times \log_2 P_i$; i = numéro de l'espèce allant de 1, 2, 3, 4, 5.....n. P_i = proportions des individus de l'espèce i dans l'ensemble des individus du peuplement.

2.3. Evaluation du recouvrement de la végétation dans les sites

La caractérisation de la structure de la végétation a consisté à évaluer les recouvrements des différentes strates végétales rencontrées dans chaque unité expérimentale. Le recouvrement est en fait le rapport de la surface couverte par une strate considérée sur la surface totale de la parcelle échantillon. Ainsi, il a été estimé : le recouvrement global de la végétation (RG), le recouvrement de la végétation ligneuse (RL), le recouvrement de la strate herbacée (RH), le recouvrement de la strate arborée (RSA), le recouvrement de la strate arbustive (RSar), le recouvrement de la strate basse ligneuse (RSBL), le recouvrement de la litière et la fréquence du sol nu. Ces observations sont faites dans chaque parcelle élémentaire de chaque site de la zone d'étude.

2.4. Evaluation de la production de biomasse ligneuse dans les sites

Pour l'évaluation de la production de bois, il a été mesuré dans chaque parcelle échantillon la circonférence à 1,30m de toutes les tiges dont la circonférence est supérieure ou égale à 10cm. Sur la base de ce paramètre et en connaissant la pluviométrie moyenne annuelle de la localité, il a été calculé le volume de bois sur place (en m³/ha) à partir de la formule de Morel établie pour le Mali (in Clément, 1982). La formule est : $V = 10 \times P \times G$ où v est le volume de bois en mètre cube (m³) ; p est la pluviométrie en mètre (m), g est la surface terrière en mètre carré (m²) et 10 représente une constante.

2.5 Traitement des données

Les données collectées ont été saisies à l'aide du logiciel Excel Office 2007. Pour l'analyse des données statistiques, le logiciel R a été utilisé. Des graphiques et des tableaux ont été utilisés pour la présentation des résultats.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats de la présente étude sont relatifs à la diversité floristique, aux recouvrements des différentes strates de la végétation et à la production de la biomasse des formations savanicoles des sites.

3.1. Diversité végétale dans les sites d'étude

- *Variation du nombre d'espèces et de familles suivant le gradient climatique*

La richesse floristique varie en fonction des sites d'étude et cela pour les espèces ligneuses et celles herbacées (Tableau 1). Les herbacées sont plus nombreuses que les espèces ligneuses et cela quel que soit le site. La courbe de la richesse a une tendance ascendante des sites les plus arides vers les sites les humides et cela est valable pour le nombre de familles d'espèces recensées dans les sites. Toutefois, le nombre de familles devient presque égal dans le bioclimat guinéen nord (Figure 1). La richesse floristique est tributaire de la pluviométrie (Aubreville, 1950). Des constats similaires ont été évoqués par Karembé et al, (2011) ; Donfack (1998) et Boudet et Lebrun (1986). Sanogo (2010) indique qu'en plus de la pluviométrie le type de sol pourrait avoir un rôle prépondérant dans la diversité floristique surtout ligneuse.

Tableau 1 : Variation du nombre d'espèces végétales en fonction du gradient climatique

Sites Types biologiques	Koro kodi o 400 mm	Lakama né 600 mm	Négulé la 1000 mm	Tiorola 1200 mm	Tiendaga 1400 mm
Ligneux	10	13	59	70	74
Herbacées	62	56	77	84	86
Total	72	69	136	154	160

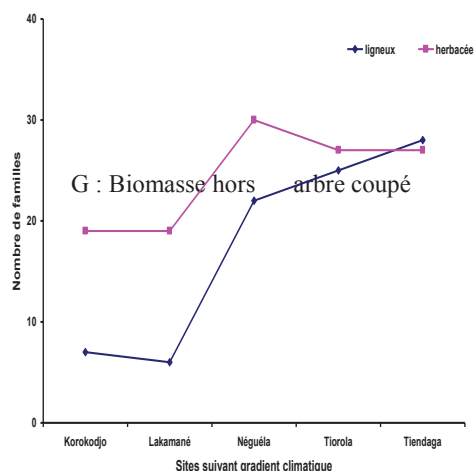


Figure 1 : Variation du nombre de familles dans les sites suivant le gradient climatique

- Variation de la diversité floristique spécifique en fonction des traitements et sites

Il ressort des résultats de l'analyse de variance des données sur les différents sites, qu'il y a une différence hautement significative entre les traitements seulement dans le site de Korokodjo. Ce sont les traitements non pâturés avec feu (Fh) et ceux sans feu et pâture (fh) qui se révèlent plus diversifiés que les autres traitements (Tableau 2). Par contre Karembé (2001) et Dembélé (1996) rapportent, après une étude sur la biodiversité végétale des jachères en zone soudanienne, une diversité plus importante des jachères pâturées et que non pâturée. Ils indiquent aussi que cette diversité diminue avec la pratique du feu. La diversité floristique plus élevée dans les parcelles pâturées, pourrait s'expliquer. En zone de savane, la pâture modérée peut augmenter la richesse en espèces végétales et cela à travers la dissémination des semences et spores par les animaux (Fernandez-Gimenez et Allen-Diaz, 1999 ; Fournier et al, 2000 ; Karembé, 2001).

Dans les autres sites aucune différence statistiquement significative n'a été observée entre les traitements. Cependant, l'indice de Shannon croît globalement du nord vers le sud. Ceci marque probablement l'effet de la pluviométrie.

Tableau 2: Variation de l'indice de diversité de Shannon de la végétation des sites en fonction des traitements

Traitement	Indice Korokodjo	Indice Lakamane	Indice Néguela	Indice Tiorola	Indice Tiendaga
FH	4,30c	4,91a	5,50a	5,82a	5,68a
Fh	4,80a	4,59a	5,41a	5,48a	5,42a
fh	4,26c	4,49a	5,49a	5,70a	5,72a
Fh	4,58b	4,54a	5,40a	5,59a	5,67a
Moy	4,49	4,64	5,45	5,65	5,63
Probé	0,000	0,09	0,77	0,32	0,10

Ecart type	0,09	0,21	0,15	0,21	0,16
Signi	HS	NS	NS	NS	NS
CV	2,00	4,52	2,74	3,71	2,84

Légende : Chaque valeur de traitement et indice représente la moyenne pour 4 parcelles unitaires ; FH : unité parcellaire soumise au feu et au pâturage ; Fh : unité parcellaire soumise au feu sans pâturage ; fh : unité parcellaire sans feu soumise pâturage ; fh : unité parcellaire sans feu et sans pâturage. HS : hautement significatif ; S : significatif ; NS : non significatif ; C.V : le coefficient de la variance. Dans une même colonne, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas statistiquement différentes entre elles au seuil de 5 % pour le test de Newman et Keuls.

3.2. Structure végétale dans les sites d'étude

- Variation des recouvrements des différentes strates dans les sites

Nous désignons ici structure, les recouvrements des différentes strates de la végétation observées au niveau des différentes parcelles d'expérimentation. Ces strates déterminent aussi la physionomie de la végétation. Souvent dénommé état de surface, le recouvrement de la végétation et la fréquence du sol nu sont aussi des indicateurs biophysiques pertinents de la dégradation du milieu. De ce fait, ils constituent des paramètres importants à collecter dans la surveillance environnementale (Dembélé et Karembé, 2006).

Le recouvrement global est élevé (>80%) dans tous les sites (Figure 2). Par contre, celui de la strate ligneuse plus important (>50%) à Néguela, Tiorola et Tiendaga qu'à Lakamané et Korokodio (10 à 30%) est lié aux conditions climatiques plus favorables dans les premiers sites que dans les seconds. Des tendances similaires avaient été rapportées par Mama (2011), Sanogo (2010) et Dembélé et al (2009). Le taux de la strate herbacée est par contre plus important à Néguela, Lakamané et Korokodio (>80%).

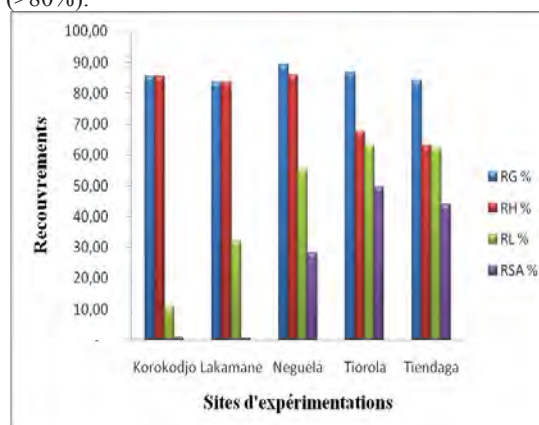


Figure 2: Variation du recouvrement global de la végétation (RG), du recouvrement de la strate herbacée (RH), de la strate ligneuse (RL) et de la

strate arborée (RSA) en fonction des sites suivant le gradient climatique

- Variation des recouvrements des différentes strates fonction des traitements

Le recouvrement global de la végétation est plus lié à la pâture qu'au feu. Il est plus élevé dans les parcelles non pâturées que dans celles pâturées sans distinction du type de feu (Tableau 3). C'est la même tendance pour le recouvrement de la végétation herbacée. En ce qui concerne les strates arbustive et basse ligneuse, leurs recouvrements sont plus importants dans les parcelles non pâturées avec le feu que dans les autres parcelles. L'effet stimulant de la pratique de feu sur les ligneux des zones semi arides a été souligné par Dembélé (1996) ; Donfack (1998) et Hill et Hanan (2011). Par rapport au recouvrement du sol nu, il faut

noter qu'il est plus élevé dans les parcelles pâturées que non pâturées et cela sans distinction de la pratique du feu. Cela pourrait indiquer que la pâture dégraderait plus le couvert végétal que le feu de brousse dans cette zone. Par contre, quant à la litière, elle est plus importante dans les parcelles non pâturées que dans celles pâturées et cela indépendamment de la pratique de. Ces résultats confirment ceux rapportés par Dembélé (1996) qui, après une étude diachronique des pratiques de feu, souligne que les jeunes jachères non pâturées et non brûlées conservent une quantité importante de la litière. Cette dernière influencerait même défavorablement sur une bonne germination des semences d'herbacées s'elle n'est pas décomposée.

Tableau 3 : Variation du recouvrement des différentes strates de la végétation en fonction des pratiques de feu et de pâture

Traitement	RG %	RH %	RSar%	RSBL %	RSNu %	Litière %
FH	80c	80c	5,25b	0,25b	20a	0,25b
Fh	95a	95a	16,25a	3,75a	5c	52,5a
fH	78,75c	78,75c	10ab	0,5b	21,25a	0b
fh	87,5b	87,5b	4,5b	0,75b	12,5b	55a
Moy	85,3125	85,31	9,00	1,31	14,69	26,94
Prob	0,0000	0,0000	0,0377	0,0094	0,0000	0,0000
Ecart type	1,92	1,92	1,02	1,02	1,92	3,96
Signin	HS	HS	S	S	HS	HS
C.V.	2,25%	2,25%	11,33%	77,86%	13,07%	14,69%

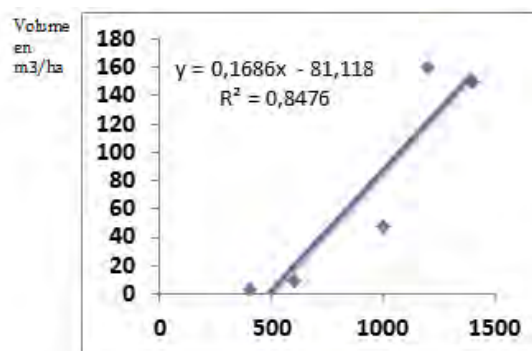
Légende : Chaque valeur de traitement et indice représente la moyenne pour 4 parcelles unitaires ; FH : unité parcellaire soumise au feu et au pâturage ; Fh : unité parcellaire soumise au feu sans pâturage ; fH : unité parcellaire sans feu soumise pâturage ; fh : unité parcellaire sans feu et sans pâturage. HS : hautement significatif ; S : significatif ; NS : non significatif ; C.V : le coefficient de la variance. Dans une même colonne les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas statistiquement différentes entre elles au seuil de 5 % pour le test de Newman et Keuls.

3.3. Production de biomasse ligneuse dans les sites

- Variation de la biomasse ligneuse en m³.ha⁻¹ dans les sites

La production en biomasse (m³.ha⁻¹) est plus importante dans sites localisés dans le bioclimat guinéen (Tiorola et Tiendaga) que ceux situés dans le bioclimat soudanien (Néguéla et Lakamané) et Sahélien (Korokodio) (Figure 3). Il ressort de l'observation et de l'analyse des données que la production en bois est corrélée avec la pluviométrie. Cette production est comprise entre 150 et 160 m³ par hectare en zone guinéenne nord. En zone soudanienne elle varie environ entre 10 et 48 m³ par hectare et seulement 3 m³ par hectare en zone Sahélienne. La forte production en bois dans la zone guinéenne nord pourrait s'expliquer la pluviométrie d'une part et l'effet moindre des perturbations. En zone soudanienne et sahélienne, outre le niveau

relativement faible de la pluviométrie, les écosystèmes y sont soumis de façon récurrente aux feux de brousse et aux surpâturages. Toutes ces perturbations anthropiques contribuent négativement à la production et la productivité en bois de ces écosystèmes (Sanogo, 2010 ; Dohn et al, 2012 ; Tredennick et al, 2015).



III. CONCLUSION

Les résultats obtenus au terme de la présente étude sont riches en informations. Elle a permis de comprendre partiellement l'effet du feu et de la pâture sur quelques paramètres de la végétation. Elle nous a permis aussi de comprendre l'effet du gradient climatique sur ces paramètres.

La diversité floristique et la production de biomasse ligneuse sont corrélées avec la pluviométrie. Elles

sont plus importantes dans les zones plus arrosées (guinéenne et soudanienne) que dans celles plus sèches (sahéliennes).

La pâture et le feu influent sur les recouvrements des strates même si l'effet pâture est plus significatif que celui du feu.

Ces dispositifs méritent un suivi à long terme pour mieux cerner les mécanismes de fonctionnement des écosystèmes savanicoles suite aux facteurs écologiques déterminants.

REFERENCES

- [1] Amevor K. A., 2011 : effet du gradient climatique sur la production et la biodiversité des herbacées au Mali. 52p.
- [2] Daget Ph. et Poissonet J. 1971 – Une méthode d'analyse phytoécologique des paires, critère d'application. *Ann Agron*, 22, 1 5-41
- [3] Dembélé, F., Karembé, M., Gerbe, A., Gautier, D., 2006. Etude des conséquences des modalités d'utilisation des terres en zone aride sur la dégradation des milieux physiques et biologiques au Mali. (Zone de Bamba). Rapport Final du Projet CSFD 98-23, Institut d'Economie Rurale, Bamako, Mali, 94 p.
- [4] Dembélé F., 1996. – Influence du feu et du pâturage sur la végétation et la biodiversité dans les jachères en zone soudanienne-nord du Mali. Cas des jachères du terroir de Missira (cercle de Kolokani). Thèse doct. Univ. Aix-Marseille III. Option biologie des populations et écologie. 182 p.
- [5] Dembélé F., Karembé M. et Diallo D., 2009. Influence du climat et du sol sur la végétation ligneuse dans le bassin du fleuve Sénégal au Mali. 3eme Conférence Internationale sur l'analyse multidisciplinaire de la mousson Africaine. Ouagadougou 2009, pp.184.
- [6] Dohn J., Dembélé F., Karembé M., Moustakas A., Amevor K. A., et Hanan P.N., 2012. Tree effects on grass growth in savannas: Competition, facilitation and the stress-gradient hypothesis. *Journal of Ecology, BES*, 1-8p.
- [7] Ellis, J. E., and D. M. Swift., 1988: Stability of African pastoral ecosystems: Alternate paradigms and implications for development. *Journal of Range Management* 41:450-59p.
- [8] Gounot M., 1969 - Méthodes d'étude quantitatives de la végétation. Masson, Paris, 314 p.
- [9] Karembé M., Traoré L., Dembélé F. et Sanogo Y., 2014. *Influence de la pression humaine sur la diversité et la production ligneuse des galeries de la rivière Baoulé en zone Mali-Sud*. *Revu-Cames- Vol 01- 2014*. Sciences de la vie, de la terre et agronomie. P : 41-49.
- [10] Karembé M. 2001 : Production végétale et utilisation des ressources pastorales des jachères en zone soudanienne au Mali. Thèse de Doctorat, Université du Mali, 159 p.
- [11] Karembé M., Dembélé F., Diallo D., 2009 : Surveillance de la biomasse herbacée en fonction du gradient climatique dans le bassin du fleuve Sénégal au Mali. 3eme Conférence Internationale sur l'analyse multidisciplinaire de la mousson Africaine. Ouagadougou 2009, pp.193.
- [12] Karembé M., Dembélé F., Ballo M., et Yossi H., 2011. Biodiversité et origine bioclimatique de la végétation ligneuse de la réserve de biosphère de boucle du Baoulé au Mali - *Revue Malienne de Science et Technologie (2011) N° 13*, 37-51
- [13] Maman Z. 2011 : Effet conjugué du feu de brousse et de la pâture sur la végétation ligneuse en fonction du gradient climatique au Mali. Mémoire de DEA, FAST-UB, Mali, 69 p.
- [14] MEA, 2006 : Rapport National sur l'Etat de l'Environnement 2005.
- [15] MEATEU, 2000: Stratégie National en Matière de Biodiversité Biologique. Tome 1, Tome 2.
- [16] Sanogo S., 2010 : Influence du climat et du sol sur la structure et la diversité de la végétation ligneuse dans le bassin du fleuve Sénégal du Mali. Mémoire de DEA, FAST- UB, 59 p.
- [17] Shannon C. E., 1948: A Mathematical Theory of Communication. Bell System
- [18] Tredennick. A. T., Karembé M., Dembélé F. and. Hanan, N. P., 2015. No effects of fire, large herbivores and their interaction on regrowth of harvested trees in two West African savannas, *African Journal of Ecology*, DOI: 10.1111/aje.12238).
- [19] Yossi, H., 1996 : Dynamique de la végétation post-culturelle en zone soudanienne au Mali. Thèse Doct. Option Population-Environnement, ISFRA, Bamako, Mali, 141 p

MODELISATION ET SIMULATION EN SCIENCES : METHODES ET APPLICATIONS

Modélisation et commande d'un système éolien à base de machine asynchrone à double alimentation

Yaya SISSOKO¹, Mamadou Lamine DOUMBIA², Bekhada HAMANE², Maliki GUINDO³

¹Ecole Normale Enseignement Technique et Professionnel

²Université du Québec à Trois-Rivières

³Ecole Nationale d'Ingénieurs –Abderhamane Baba Touré

Adresse de correspondance : sissokoyaya641@yahoo.fr; mamadou.doumbia@uqtr.ca

RESUME : Cet article porte sur la modélisation et la simulation d'un système éolien utilisant une génératrice asynchrone à double alimentation (GADA) pour l'injection de puissance au réseau électrique. Les principaux composants du système (turbine éolienne, machine asynchrone, convertisseurs de puissance) ont été modélisés. La commande MPPT a été décrite et les résultats de la simulation du système sont présentés pour la commande en puissance.

Mots clés : Turbine éolienne, machine asynchrone à double alimentation, modélisation, simulation, commande vectorielle

I. INTRODUCTION

Il y a encore quelques années, pratiquement toutes les éoliennes fonctionnaient à vitesse fixe [1]. Elles contenaient pour la plupart un générateur asynchrone à cage d'écureuil. C'est en grande partie les progrès technologiques réalisés sur les composants d'électronique de puissance et la réduction des prix correspondants qui ont rendu leur utilisation possible dans les nouveaux aérogénérateurs. L'introduction des convertisseurs de puissance entre le générateur et le réseau donne lieu à un découplage entre la fréquence du réseau électrique et la vitesse de rotation de la machine électrique. Ceci entraîne une amélioration du rendement énergétique du système. La vitesse variable permet également d'améliorer la qualité de la puissance électrique produite, en introduisant de la souplesse dans la réaction du système face aux fluctuations brusques de la vitesse du vent.

Avec l'utilisation des machines asynchrones à rotor bobiné, la plus grande partie de la puissance est directement distribuée au réseau par le stator et moins de 25% de la puissance totale passe par les convertisseurs de puissance à travers le rotor. Ceci donne l'occasion d'utiliser des convertisseurs plus petits et donc moins coûteux avec un contrôle indépendant des puissances active et réactive produites par la machine [1].

Dans cet article, on s'intéresse essentiellement à la modélisation et à la commande du système de conversion éolienne basé sur une machine asynchrone à double alimentation (MADA). Dans un premier temps, on a modélisé les principaux éléments de ce système de conversion éolienne, tels que la turbine éolienne et ses parties mécaniques et ensuite la machine asynchrone à double alimentation en mode générateur et les convertisseurs. Ensuite, on a appliqué la commande vectorielle pour contrôler

indépendamment la puissance active et réactive statorique du générateur asynchrone à double alimentation (GADA) qui est entraîné par une turbine éolienne commandée par la stratégie MPPT (Maximum Power Point Tracking) pour extraire le maximum de la puissance produite par ce générateur. Tous les modèles ont été développés et implémentés dans le logiciel Matlab/Simulink.

II. MODÉLISATION DE LA TURBINE ÉOLIENNE

L'éolienne capte une partie de l'énergie cinétique du vent disponible et la convertit en énergie mécanique par le rotor, puis en énergie électrique par la génératrice GADA transmise ensuite au réseau électrique.

La puissance produite par un vent traversant une surface S dépend du cube de la vitesse du vent V et de la densité de l'air ρ .

Cette puissance est donnée par :

$$P_V = P_{mt} = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot V^3 \quad (1)$$

La puissance aérodynamique apparaissant au niveau du rotor de la turbine s'écrit alors :

$$P_{aer} = P_m = \frac{1}{2} C_p(\lambda, \beta) \cdot \rho \cdot S \cdot V^3 \quad (2)$$

La turbine ne récupère qu'une fraction de cette puissance. Cette fraction est définie par la surface balayée par les pâles $S = \pi R^2$, le coefficient de puissance C_p qui caractérise chaque turbine et qui dépend à la fois de la position angulaire de l'axe de la pale caractérisée par son angle de calage β et du rapport de vitesse λ . Il peut être décrit comme suivant [9] :

$$C_p(\lambda, \beta) = C_1 \left(\frac{C_2}{\lambda_i} - C_3 \cdot \beta - C_4 \right) \exp \left(-\frac{C_5}{\lambda_i} \right) + C_6 \lambda \quad (3)$$

Avec : $\frac{1}{\lambda_1} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1}$ et $C_1 = 0.5176$; $C_1 = 116$; $C_1 = 0.4$; $C_1 = 5$; $C_1 = 21$; $C_1 = 0.0068$.

La figure 1 représente la variation de coefficient (C_p) en fonction du ratio de vitesse λ et de l'angle de l'orientation de pale β .

La valeur maximale de C_p est $C_{p\_max} = 0.48$ et correspond à l'angle de l'orientation de pale $\beta = 0$ et la valeur optimale du ratio de vitesse $\lambda_{optim} = 8.1$. Pour extraire le maximum de la puissance générée, il faut donc fixer le ratio de vitesse λ_{optim} et le coefficient de puissance maximal C_{p_max} . Connaissant la puissance, le couple de la turbine aérodynamique est donc directement déterminé par :

$$C_t = \frac{P_{aer}}{\Omega_t} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho \cdot \pi R^2 \cdot V^3 \cdot C_p(\lambda, \beta)}{\Omega_t} \quad (4)$$

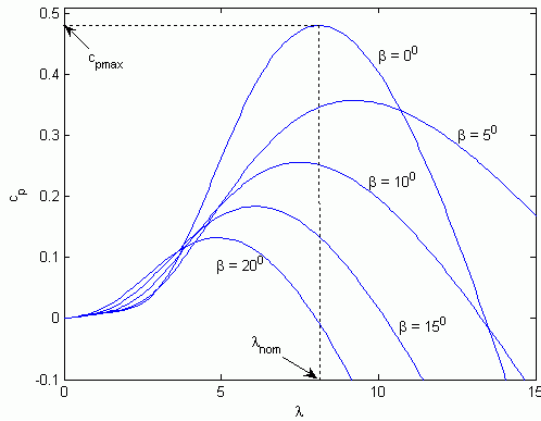


Figure 1 : Coefficient de puissance C_p en fonction de λ et de l'angle de l'orientation de pale β .

Le multiplicateur adapte la vitesse de rotation de la turbine (arbre lent) à la vitesse de rotation de la MADA (arbre rapide). En considérant que le multiplicateur est idéal, c'est-à-dire que les pertes mécaniques sont négligeables, il est alors modélisé par les deux équations suivantes :

$$C_g = \frac{C_t}{G} \quad (5)$$

$$\Omega_t = \frac{\Omega_{mec}}{G} \quad (6)$$

Où :

C_g Couple du générateur ;

Ω_t Vitesse de la turbine ;

Ω_{mec} Vitesse de rotation du générateur.

La rigidité de l'arbre d'entraînement est supposée infinie, le coefficient de frottement et l'inertie de la turbine doivent être combinés avec ceux du générateur couplé à la turbine.

D'après l'équation fondamentale de la dynamique, on peut écrire que :

$$J \frac{d\Omega_{mec}}{dt} = C_{mec} \quad (7)$$

Ce couple mécanique prend en compte le couple électromagnétique (C_{em}) produit par la génératrice, le couple du frottement visqueux C_{vis} et le couple issu

du multiplicateur C_g .

$$C_{mec} = C_g - C_{em} - f \cdot \Omega_{mec} \quad (8)$$

Avec

$$C_{vis} = f \cdot \Omega_{mec} \quad (9)$$

f Coefficient de frottement visqueux de la MADA. En remplaçant (8) dans (7) on obtient :

$$C_g - C_{em} = J \frac{d\Omega_{mec}}{dt} + f \cdot \Omega_{mec} \quad (10)$$

Le modèle de la turbine éolienne sous le logiciel Matlab/Simulink est représenté par la figure 2.

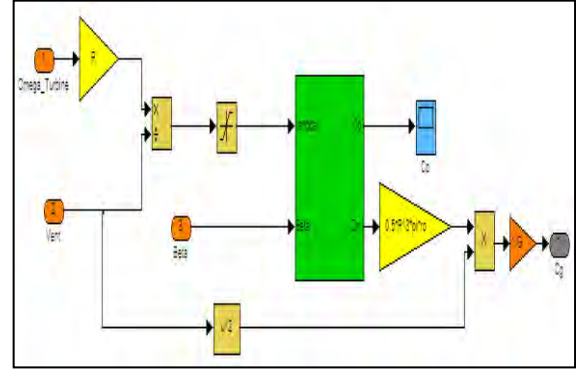


Figure 2 : Modèle de la turbine éolienne.

III. EXTRACTION DE PUISSANCE MAXIMALE

L'utilisation des turbines éoliennes à vitesse variable permet de régler la variation de vitesse de la génératrice. Ceci s'avère très utile pour extraire le maximum de puissance lors de son fonctionnement. Le but de cette commande est la recherche permanente de ce maximum. On retrouve cette technique sous le nom de «Maximum Power Point Tracking» (MPPT) dans la littérature [2]. Cette optimisation de puissance se passe dans la zone 2 de la courbe de fonctionnement d'une éolienne à vitesse variable (figure 3).

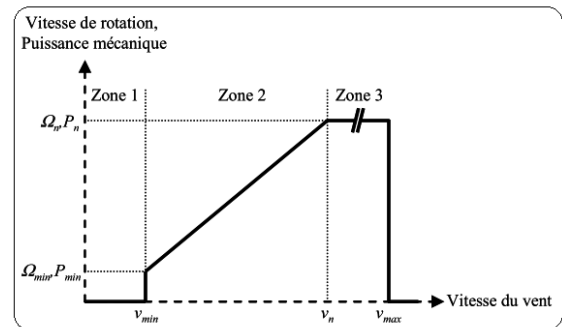


Figure 3 : Zones de fonctionnement d'une éolienne à vitesse variable.

Il existe des nombreuses techniques de contrôle pour chercher le point de puissance maximale, néanmoins nous aborderons dans notre étude la méthode de maximisation de la puissance sans mesure de la vitesse du vent. Cette dernière, la plus répandue, suppose que la caractéristique C_p est connue. Il suffit

de suivre la courbe de puissance optimale comme caractéristique de charge pour que l'éolienne soit dans les conditions optimales.

Pour cela on suppose que la vitesse du vent varie très peu en régime permanent devant les constantes de temps électriques du système éolien, ce qui implique que le couple d'accélération de la turbine peut être considéré comme nul [3]. Dans ce cas, à partir de l'équation (10), nous pouvons écrire :

$$J \frac{d\Omega_{mec}}{dt} = C_g - C_{em} - f \cdot \Omega_{mec} = 0 \quad (11)$$

De plus, si l'on néglige l'effet du couple dû aux frottements visqueux, on peut alors écrire :

$$C_g = C_{em} \quad (12)$$

Une estimation de la vitesse de rotation de la turbine, notée Ω_{t_est} , est obtenue à partir de la mesure de la vitesse de rotation de la MADA :

$$\Omega_{t\_est} = \frac{\Omega_{mec}}{G} \quad (13)$$

Pour extraire la puissance maximum générée, nous devons fixer le ratio de vitesse optimal λ_{optim} et le coefficient de puissance maximum C_{p_max} , la mesure de la vitesse du vent est difficile, une estimation de sa valeur peut être obtenue :

$$V_{est} = \frac{R \cdot \Omega_{t\_est}}{\lambda_{optim}} \quad (14)$$

La puissance aérodynamique de référence est donc donnée par :

$$P_{aer\_ref} = \frac{1}{2} C_{p\_max} \cdot \rho \cdot \pi R^2 \cdot V_{est}^3 \quad (15)$$

Le couple de la turbine éolienne peut ensuite être obtenu à partir des estimations de la vitesse du vent et de la vitesse de rotation de la turbine. Il peut s'exprimer par :

$$C_{t\_est} = \frac{P_{aer\_ref}}{\Omega_{t\_est}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho \cdot \pi R^2 \cdot V_{est}^3 \cdot C_{p\_max}}{\Omega_{t\_est}} \quad (16)$$

Le couple électromagnétique de référence peut s'exprimer comme suit :

$$C_{em\_ref} = \frac{C_{t\_est}}{G} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho \cdot \pi R^2 \cdot V_{est}^3 \cdot C_{p\_max}}{\Omega_{t\_est} \cdot G} \quad (17)$$

IV. MODELISATION DE LA MACHINE ASYNCHRONE A DOUBLE ALIMENTATION

Le modèle électrique général de la machine asynchrone obtenue en utilisant la transformation de Park, est donnée par les équations suivantes :

Les tensions statoriques et rotoriques:

$$\begin{cases} V_{sd} = R_s \cdot i_{sd} + \frac{d\phi_{sd}}{dt} - \omega_s \cdot \phi_{sq} \\ V_{sq} = R_s \cdot i_{sq} + \frac{d\phi_{sq}}{dt} + \omega_s \cdot \phi_{sd} \\ V_{rd} = R_r \cdot i_{rd} + \frac{d\phi_{rd}}{dt} - (\omega_s - \omega) \cdot \phi_{rq} \\ V_{rq} = R_r \cdot i_{rq} + \frac{d\phi_{rq}}{dt} + (\omega_s - \omega) \cdot \phi_{rd} \end{cases} \quad (18)$$

Les flux statoriques et rotoriques :

$$\begin{cases} \phi_{sd} = L_s \cdot i_{sd} + L_m \cdot i_{rd} \\ \phi_{sq} = L_s \cdot i_{sq} + L_m \cdot i_{rq} \\ \phi_{rd} = L_r \cdot i_{rd} + L_m \cdot i_{sd} \\ \phi_{rq} = L_r \cdot i_{rq} + L_m \cdot i_{sq} \end{cases} \quad (19)$$

Les puissances actives et réactives statoriques et rotoriques sont définies comme suit :

$$\begin{cases} P_{sd} = V_{sd} \cdot i_{sd} + V_{sq} \cdot i_{sq} \\ Q_{sd} = V_{sq} \cdot i_{sd} - V_{sd} \cdot i_{sq} \\ P_{rd} = V_{rd} \cdot i_{rd} + V_{rq} \cdot i_{rq} \\ Q_{rd} = V_{rq} \cdot i_{rd} - V_{rd} \cdot i_{rq} \end{cases} \quad (20)$$

L'expression du couple électromagnétique de la MADA en fonction des flux et courants statoriques s'écrit comme suit :

$$C_{em} = -\frac{3}{2} P \cdot \frac{L_m}{L_s} (i_{rq} \cdot \phi_{sd} - i_{rd} \cdot \phi_{sq}) \quad (21)$$

Avec : $\omega = P \cdot \Omega$

Où :

V_{sd}, V_{sq} et V_{rd}, V_{rq} : Tensions statoriques et rotoriques dans le repère de PARK ;

i_{sd}, i_{sq} et i_{rd}, i_{rq} : Courants statoriques et rotoriques dans le repère de PARK ;

ϕ_{sd}, ϕ_{sq} et ϕ_{rd}, ϕ_{rq} : Flux statoriques et rotoriques dans le repère de PARK ;

R_s, R_r : Sont respectivement les résistances statoriques et rotoriques ;

L_s, L_r : Inductance propres statoriques et rotoriques ;

M_s : Inductance mutuelle des enroulements statoriques ;

M_r : Inductance mutuelle des enroulements rotoriques ;

L_m : Représente la valeur maximale des coefficients d'inductance mutuelle stator-rotor obtenue lorsque les bobinages sont en regard l'un de l'autre ;

P : Nombre de paires de pôles de la MADA.

V. MODÉLISATION DES CONVERTISSEURS

Dans cette partie, nous nous intéressons à la modélisation du convertisseur de puissance l'onduleur ou le redresseur constitués des diodes en anti-parallèles et d'IGBT commandés en ouverture et en fermeture par la technique MLI dans le repère triphasé naturel.

5.1 MODELISATION ET COMMANDE DE L'ONDULEUR A MLI

L'onduleur de tension à Modulation de largeur d'impulsion (MLI) est un convertisseur statique DC-AC constitué des cellules de commutation généralement à transistors IGBT ou à thyristors GTO pour les grandes puissances (Figure 4). Il permet, après redressement, d'imposer soit à la machine soit au réseau des ondes de tension à amplitudes et fréquences variables à partir d'une tension continue.

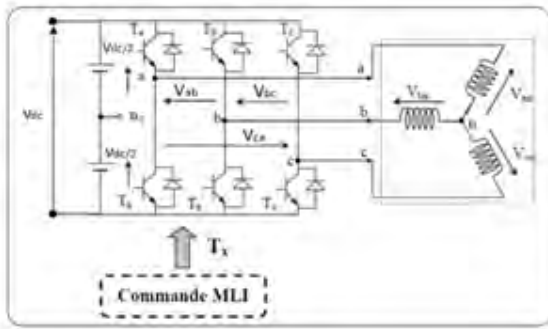


Figure 4 : Schéma de l'onduleur triphasé à deux niveaux [4].

L'état des interrupteurs, supposés parfaits peut être défini par trois grandeurs booléennes de commande S_i ($i = a, b, c$) :

- o Si $S_i = 1$, Le cas où l'interrupteur de haut est fermé et celui d'en bas ouvert.
- Si $S_i = 0$, Le cas où l'interrupteur de haut est ouvert et celui d'en bas fermé.

Dans ces conditions on peut écrire les tensions de phases V_{ino} en fonction des signaux de commande S_i [4] :

$$V_{ino} = S_i \cdot V_{dc} - \frac{V_{dc}}{2} \quad (22)$$

Avec $i = a, b, c$

Les tensions composées sont obtenues à partir des sorties de l'onduleur en tenant compte du point fictif n_0

$$\begin{cases} V_{ab} = V_{an_0} + V_{n_0b} = V_{an_0} - V_{bn_0} \\ V_{bc} = V_{bn_0} + V_{n_0c} = V_{bn_0} - V_{cn_0} \\ V_{ca} = V_{cn_0} + V_{n_0a} = V_{cn_0} - V_{an_0} \end{cases} \quad (23)$$

Soit n le point neutre du côté alternatif de la MADA, alors on a :

$$\begin{cases} V_{an} = V_{an_0} + V_{nn_0} \\ V_{bn} = V_{bn_0} + V_{nn_0} \\ V_{cn} = V_{cn_0} + V_{nn_0} \end{cases} \quad (24)$$

La charge est considérée équilibrée, il l'en résulte :

$$V_{an} + V_{bn} + V_{cn} = 0 \quad (25)$$

Donc, on peut déduire que :

$$V_{nn_0} = -\frac{1}{3} \cdot (V_{an_0} + V_{bn_0} + V_{cn_0}) \quad (26)$$

En remplaçant (II.45) dans (II.43) on obtient :

$$\begin{aligned} V_{an} &= \frac{1}{3} (2 \cdot V_{an_0} - V_{bn_0} - V_{cn_0}) \\ V_{bn} &= \frac{1}{3} (-V_{an_0} + 2 \cdot V_{bn_0} - V_{cn_0}) \end{aligned} \quad (27)$$

$$V_{cn} = \frac{1}{3} (-V_{an_0} - V_{bn_0} + 2 \cdot V_{cn_0})$$

L'utilisation de l'expression (22) permet d'établir les équations des tensions simples en fonction des grandeurs de commande :

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \frac{V_{dc}}{3} \cdot \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_a \\ S_b \\ S_c \end{bmatrix} \quad (28)$$

Où

V_{an} , V_{bn} et V_{cn} sont les tensions simples à la sortie de l'onduleur.

5.2 COMMANDE PAR MODULATION SINUS - TRIANGLE

La Modulation de Largeur d'Impulsion (MLI) sinus-triangle est réalisée par comparaison d'une onde modulante basse fréquence (tension de référence) à une onde porteuse haute fréquence de forme triangulaire. Les instants de commutation sont déterminés par les points d'intersection entre la porteuse et la modulante. La fréquence de commutation des interrupteurs est fixée par la porteuse.

Les tensions de références sinusoïdales sont exprimées par :

$$\begin{cases} V_{ref a} = V_m \cdot \sin(2\pi f t) \\ V_{ref b} = V_m \cdot \sin(2\pi f t - \frac{2\pi}{3}) \\ V_{ref c} = V_m \cdot \sin(2\pi f t + \frac{2\pi}{3}) \end{cases} \quad (29)$$

Où :

f : Fréquence de la tension de référence (en Hz),

V_m : Amplitude de la tension de référence (en V),

V_{ref} : Tension de référence (en V).

5.3 MODELISATION DU REDRESSEUR A MLI

Contrairement aux redresseurs classiques, le redresseur MLI est réalisé à l'aide de semi-conducteurs commandés à l'ouverture et à la fermeture. Son circuit principal est similaire à celui d'un onduleur. La partie continue est connectée à un condensateur jouant le rôle d'accumulateur d'énergie, monté en parallèle avec une charge. Le filtre d'entrée du convertisseur est un filtre passif habituellement du premier ordre (L, R) employé pour limiter les harmoniques et connecter le redresseur MLI au réseau électrique.

La figure 5 présente la structure d'un redresseur à MLI triphasé, qui peut être décomposé en trois étages : la source (dans notre cas il est constitué du réseau plus le filtre L, R), le convertisseur et la charge.

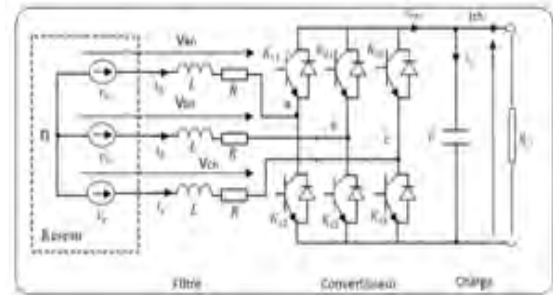


Figure 5 : Structure d'un redresseur à MLI triphasé [4].

- La source d'alimentation

C'est une tension triphasée supposée parfaitement sinusoïdale et équilibrée en série avec une résistance R et une inductance L représentant respectivement la résistance et l'inductance totales de la ligne.

- Les tensions de la ligne sont données par :

$$\begin{cases} V_a = V_{an} + R_{ia} + L \frac{di_a}{dt} \\ V_b = V_{bn} + R_{ib} + L \frac{di_b}{dt} \\ V_c = V_{cn} + R_{ic} + L \frac{di_c}{dt} \end{cases} \quad (30)$$

Où V_{an} , V_{bn} et V_{cn} sont les tensions simples par rapport au neutre de la source à l'entrée du convertisseur.

- L'étage convertisseur :

Nous savons que la structure du redresseur est identique à celle de l'onduleur déjà modélisé dans la section précédente donc nous pouvons écrire :

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \frac{V_{dc}}{3} \cdot \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_a \\ S_b \\ S_c \end{bmatrix} \quad (31)$$

En plus le courant redressé est donné par [5] :

$$i_{rec} = [S_a \ S_b \ S_c] \cdot [i_a \ i_b \ i_c]^T \quad (32)$$

Où

T représente la transposée de la matrice.

- Charge :

Cet étage est constitué d'une capacité C en parallèle avec une résistance R_{ch} modélisant la charge continue ; et il est régi par les deux équations électriques :

$$\begin{cases} i_c = \frac{C \cdot dV_{dc}}{dt} = i_{rec} - i_{ch} \\ V_{dc} = R_{ch} \cdot i_{ch} \end{cases} \quad (33)$$

En remplaçant i_{ch} on obtient la fonction de transfert entre tension et courant redressés :

$$V_{dc} = \frac{R_{ch}}{1 + R_{ch} \cdot C \cdot p} \cdot i_{rec} \quad (34)$$

p représenté le domaine de Laplace.

VI. COMMANDE VECTORIELLE DE LA MADA

Pour pouvoir contrôler facilement la production d'électricité de l'éolienne, nous allons réaliser un contrôle indépendant des puissances actives et réactives en établissant une commande vectorielle par orientation du flux statorique.

Ainsi, il apparaît deux solutions pour effectuer la commande en puissance de cette machine [6] :

- La première dans laquelle les puissances actives et réactives mesurées sont comparées à leurs références.
- La seconde consiste à mettre en place un système comportant deux boucles de contrôle une sur le courant et l'autre sur la puissance.

Dans notre étude, nous utiliserons la commande avec boucle des puissances. On peut constater, d'après la relation (21), le fort couplage entre les flux et les courants. Nous remarquons que si on élimine le deuxième produit alors le couple électromagnétique ressemblerait fort à celui de la machine à courant continu qui l'avantage d'avoir un découplage naturel entre les flux et les courants. Pour cela, il suffit

d'orienter le repère dq de manière à annuler la composante de flux en quadrature. Nous choisissons un référentiel diphasé dq lié au champ tournant. Le flux statorique ϕ_s est orienté suivant l'axe d. Ainsi nous pouvons écrire :

$$\phi_{sq} = 0 \text{ et par suite } \phi_{sd} = \phi_s$$

L'expression du couple électromagnétique devient alors :

$$C_{em} = -\frac{3}{2} P \cdot \frac{L_m}{L_s} (i_{rq} \cdot \phi_{sd}) \quad (35)$$

Pour les machines de moyenne et forte puissance utilisées dans les éoliennes, on peut négliger la résistance statorique tout en considérant le flux statorique constant [7].

Sous ces hypothèses $\phi_{sd} = \phi_s$ et $R_s = 0$, nous pourrions écrire :

$$\begin{cases} V_{sd} = 0 \\ V_{sq} = V_s = \omega_s \cdot \phi_{sd} \end{cases} \quad (36)$$

$$\begin{cases} \phi_s = L_s \cdot i_{sd} + L_m \cdot i_{rd} \\ 0 = L_s \cdot i_{sq} + L_m \cdot i_{rq} \end{cases} \quad (37)$$

D'après la relation (35), on remarque qu'en contrôlant la grandeur en quadrature du courant rotorique (i_{rq}), on peut contrôler le couple électromagnétique de la MADA.

La commande vectorielle de la MADA permet d'écrire les expressions des puissances.

$$\begin{cases} P_s = V_s \cdot i_{sq} = -V_s \cdot \frac{L_m}{L_s} i_{rq} \\ Q_s = V_s \cdot i_{sd} = V_s \cdot \frac{\phi_s}{L_s} - V_s \cdot \frac{L_m}{L_s} i_{rd} = \frac{V_s^2}{\omega_s L_s} - V_s \cdot \frac{L_m}{L_s} \cdot i_{rd} \end{cases} \quad (38)$$

Le principe de la commande vectorielle en puissance est utilisé. Il consiste à faire suivre à la MADA une consigne en puissance, avec la meilleure dynamique électrique, en tenant compte de la limite de fréquence de commutation des interrupteurs des convertisseurs de puissance. Le schéma bloc de la Commande indirecte de l'aérogénérateur en boucle ferme est illustré sur la figure 6. Des régulateurs de puissance de type PI sont utilisés. Ils permettent d'atteindre à la fois une bonne dynamique et une bonne robustesse [8].

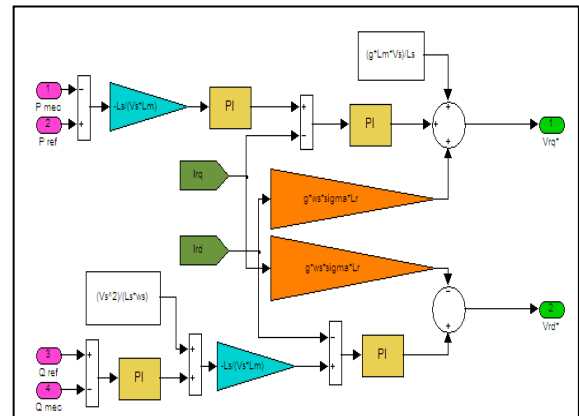


Figure 6 : Schéma bloc de la commande indirecte avec boucles de puissance.

VII. RESULTATS DE SIMULATION

Le modèle global du système éolien plus la commande ont été simulé dans l'environnement Matlab/Simulink. Le modèle comprend : la turbine éolienne, la machine asynchrone à double alimentation, deux convertisseurs de puissance et la commande vectorielle pour contrôler indépendamment les puissances active et réactive. Les résultats de la simulation numérique de l'onduleur commandé par la technique MLI triangulo-sinusoidale sont donnés à la figure 7 (en haut la comparaison entre la porteuse et la modulante, en bas la sortie d'une phase de l'onduleur).

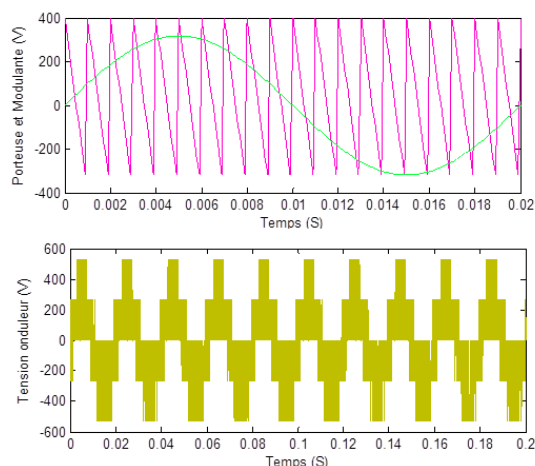


Figure 7 : Résultats de simulation de l'onduleur.

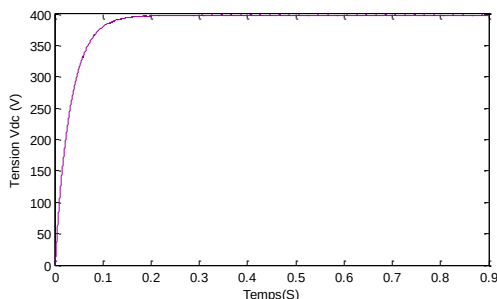


Figure 8 : Tension du bus continu.

Les figures 9, 10, 11 représentent respectivement les courants statoriques, la vitesse de la génératrice et les puissances active et réactive de la génératrice.

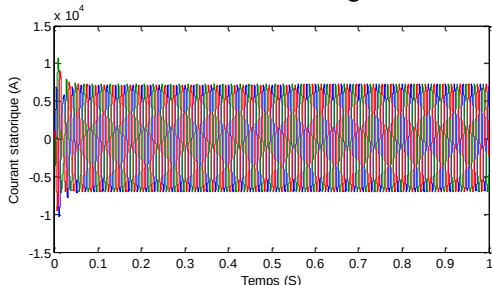


Figure 9: Courants statoriques.

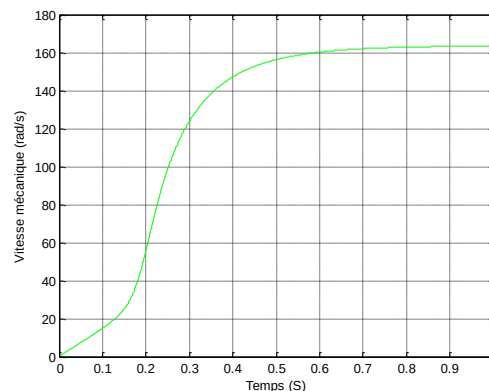


Figure 10 : Vitesse de rotation de la génératrice.

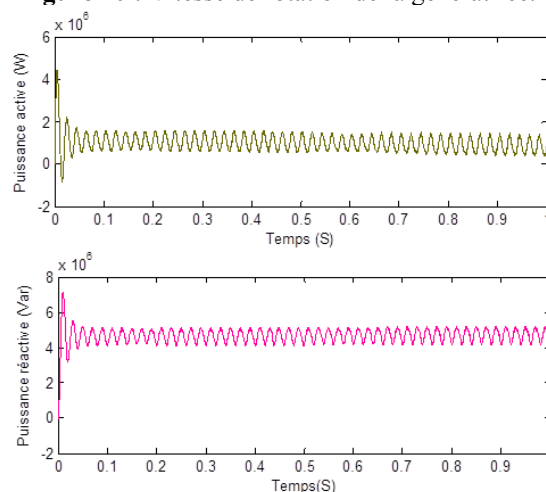


Figure 11 : Puissance active et réactive statorique.

Les résultats de simulation obtenus montrent bien la réponse dynamique rapide de la vitesse (0.2s). Cette dernière atteint une valeur légèrement supérieure à la vitesse du synchronisme (163.5 rad/s), mais cela dépend de plusieurs paramètres, principalement à la vitesse du vent, l'angle de calage β et la tension rotorique.

Des fluctuations sont présentées au niveau des puissances dues à la technique MLI à cause de la commutation des interrupteurs de l'onduleur.

Notons aussi que la machine génère plus de l'énergie réactive que l'énergie active ; ce qui donne un facteur de puissance plus éloigné de l'unité ($\cos\phi \neq 1$) et détériore le facteur de puissance global du réseau.

Sur la figure 12 on remarque visiblement le couplage entre la puissance active P_s et la puissance réactive Q_s . En gardant les mêmes conditions de l'essai précédent, on provoque seulement une chute de tension de 20% dans la tension statorique entre les temps 0.5s et 0.6s.

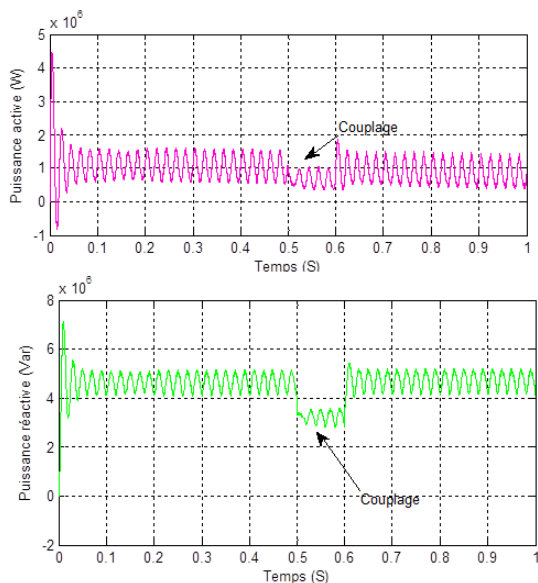


Figure 12 : Couplage de puissance active et réactive de la MADA.

Les résultats obtenus montrent bien la non linéarité du système et le couplage existant entre les différentes variables de la MADA. Donc, pour éliminer le couplage existant, on a recours à la commande vectorielle qui permet d'avoir un contrôle indépendant de la puissance active et réactive et un contrôle du facteur de puissance.

La figure 13 présente les résultats de simulation de la commande indirecte de la génératrice asynchrone à double alimentation. Que ce soit pour la puissance active ou réactive, on observe une dynamique qui réagit rapidement, les échelons sont correctement suivis.

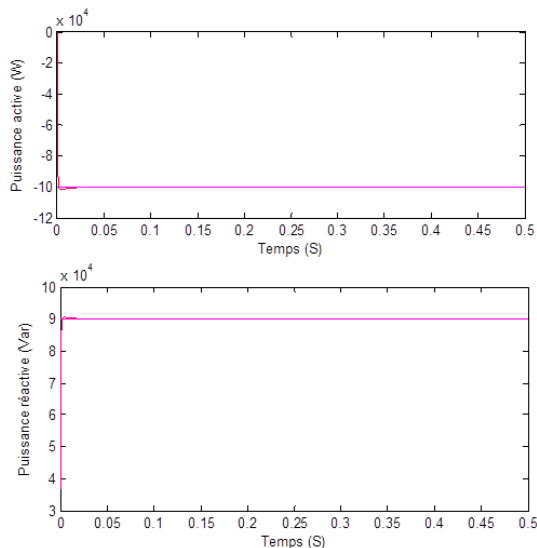


Figure 13 : Résultats de simulations pour la commande indirecte sans onduleur.

Dans le but d'avoir un facteur de puissance unitaire côté stator, on maintient la puissance réactive statorique nulle. Par contre on fixe la consigne de puissance active pour permettre de grade le coefficient de puissance optimal (figure 14).

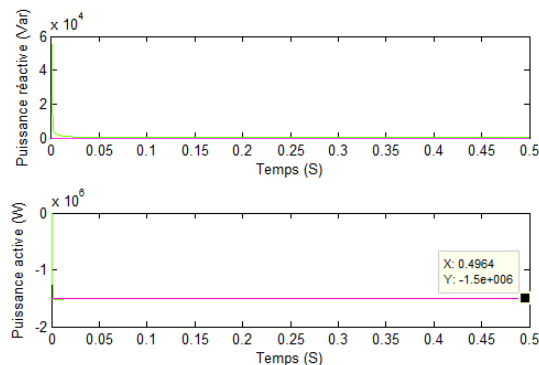


Figure 14 : Commande vectorielle à facteur de puissance unitaire.

La figure 15 prouve l'efficacité de cette méthode pour la correction du facteur de puissance, donc un déphasage nul. La figure présente le déphasage entre la tension et le courant d'une phase statorique avant et après correction.

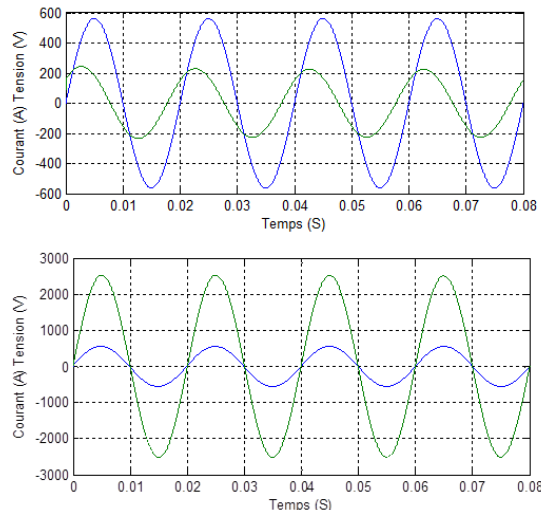


Figure 15 : Contrôle du facteur de puissance côté statorique.

VIII. CONCLUSION

Cet article a été consacré à la modélisation et la commande du système de conversion éolienne basé sur la machine asynchrone à double alimentation (MADA) en mode générateur pour la régulation de la puissance active et réactive statorique avec la commande MPPT de la turbine pour extraire le maximum de la puissance générée par le générateur. Les résultats obtenus en simulation montrent des fluctuations au niveau des puissances dues à la technique MLI (naturelle) à cause de la commutation des interrupteurs. Sachant que le modèle de la MADA est fortement couplé et le facteur de puissance statorique est détérioré. On a donc utilisé la commande vectorielle pour corriger ce dernier et contrôler les puissances active et réactive indépendamment en fonctionnement génératrice.

RÉFÉRENCES

- [1] P. Ledesma, J. Usaola, J. L. Rodríguez, J. C. Burgos, "Comparison between control systems in a doubly fed induction generator connected to an electric grid," *European Wind Energy Conference Proceedings*, Nice, pp. 869-872, 1999.
- [2] Tahar Tafticht, *Analyse et commande d'un système hybride photovoltaïque éolien*, Thèse (2006), Université du Québec à Trois-Rivières, Canada.
- [3] Arnaud Gaillard, *Système éolien basé sur une MADA : contribution à l'étude de la qualité de l'énergie électrique et de la continuité de service*, thèse (2010) de l'Université Henri Poincaré, Nancy-I.
- [4] Youcef Bekakra, *Contribution à l'Etude et à la Commande Robuste d'un Aérogénérateur Asynchrone à Double Alimentation*, Thèse (2014), Université Mohamed Khider-Biskra Faculté des Sciences et de la Technologie.
- [5] M. Sc. Mariusz Malinowski, *Sensorless Control Strategies for Three - Phase PWM Rectifiers*, 2001, Warsaw University of Technology, Faculty of Electrical Engineering Institute of Control and Industrial Electronics.
- [6] A. Boyette, *Contrôle-commande d'un générateur asynchrone à double alimentation avec système de stockage pour la production éolienne* ; Thèse de doctorat en génie électrique, Université Henri Poincaré, Nancy I, 11 Décembre 2006.
- [7] M. K. Das, et al., "Control of a grid connected doubly-fed induction generators for wind energy conversion," in *Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, 2009 Proceedings of the 44th International, 2009, pp. 1-5.
- [8] Karim Belmokhtar, Mamadou Lamine Doumbia, Kodjo Agbossou, « Modélisation et commande d'un système éolien à base de machine asynchrone à double alimentation pour la fourniture de puissances au réseau électrique » Quatrième Conférence Internationale sur le Génie Electrique CIGE'10, 03-04 Novembre 2010, Université de Bechar, Algérie.
- [9] Youcef Djeriri, *Commande vectorielle d'une MADA intégrée à un système éolien*, mémoire (2009) ; Université Djillali Liabes de Sidi Bel-Abbès, faculté des Sciences de l'Ingénieur.

ANNEXE

Nom et symbole des paramètres	Valeur numérique des paramètres
Puissance nominale P_n	1.5 MW
Tension nominale statorique V_s	398/698 V
Tension nominale rotorique V_r	225/398 V
Fréquence nominale statorique f_s	50 Hz
Fréquence nominale rotorique f_r	14 Hz
Résistance statorique R_s	0.012 Ω
Résistance rotorique R_r	0.021 Ω
Inductance statorique L_s	0.0137 H
Inductance rotorique L_r	0.0136 H
Inductance mutuelle L_m	0.0135 H
Nombre de paires de pôles P	2
Inertie de l'arbre J	1000 kgm ²
Glissement g	0.03
Coefficient de frottement visqueux de la MADA f	0.0024 N. m. s ⁻¹
Rayon de l'éolienne R	34.25 m
Gain du multiplicateur de vitesse G	90
Densité de l'air ρ	1.225 Kg/m ³
Résistance filtre R	1 Ω
Inductance filtre L	2.7 mH
Condensateur C	5 mF
Résistance charge R_{ch}	100 Ω
Fréquence porteuse du convertisseur	1500 Hz

Efficient Algorithm for Spectrum Alignment Based on Natural Element Method

Kya Abraham BERTHE¹, Stephen REICHENBACH²

¹Université des Sciences Technique et Technologies de Bamako (USTTB). Faculté des Sciences et Techniques (FST); Département de Physique

²Department of Computer Science and Engineering, University of Nebraska-Lincoln

¹Contact email: berthemoni@yahoo.com, ²Email: reich@cse.unl.edu

SUMMARY: Interpolation is a corner stone of spectral alignment and image registration. Recent researches on multidimensional spectrum analysis require mostly a robust interpolation method. Several interpolation techniques have been proposed in the literature; two main approaches are generally used: algebra and geometry. Recently geometric approach based on Voronoi triangulation approach has given a promising result; but this method presents two main drawbacks for: (i) extra convex hull data extrapolation, (ii) boundary points interpolation. In this paper we proposed natural Element Method (NEM). The proposed method combines the advantage of finite element and natural neighbor method. For assessment the proposed method is compared to the classical method, which consists of adding additional points at the four corners of the data to be interpolated. The effectiveness of the method is confirmed by simulation, the results show that natural element method overcomes the classical natural neighbor method.

Keywords: Finite element method, natural element method, natural neighbor method, interpolation theory, data analysis.

I. INTRODUCTION

In two-dimensional spectra inter-node points, the displacement of deformation is computed by interpolation. Several interpolation techniques have been proposed [1, 2]. Most existing ones require distance. Image-guided interpolation requires non-Euclidean distances in metric tensor fields that represent the coherence, orientations and shapes of features in images.

As well as for enlargement, another reason for interpolation is to align images which have sub-pixel translation shifts. Lanczos [3] has used partial summation to speed up convergence in spectral interpolation formula. Recently Jonas Gros [4] has proposed robust algorithm alignment for two-dimensional chromatograms data interpolation, using linear interpolation for the first dimension and classical nearest neighbor method (voronoi) interpolation for the second dimension respectively. However the problem of nearest neighbor interpolation is the smoothness and the interpolation of the boundaries points efficiency. In general the boundary condition is classify into two types: The first type is the Dirichlet boundary condition [5], in which the displacement, must satisfy the boundary of the domain. And the second type is called the natural or Neuman boundary condition (named after Carl Neumann), which method specified the values that the derivatives solution must satisfy on the boundary.

In this paper, we proposed natural element method based on the Voronoi tessellation, the set of nodes (reference points, target points) are used to construct an efficient interpolant function. The method

proposed also shares several advantages of the finite element method [6] such as: (a) simplicity of the shape functions in a large part of the domain; (b) C^0 continuity between elements, and (c) easy introduction of the boundary conditions. Natural element method is a meshfree numerical method for the solution of partial differential equations [7]. The Natural Element Method (NEM) is a recently numerical tool for solution of partial differential equations [8].

Unlike most of the above methods, the natural element shape functions are strictly interpolant and the essential boundary conditions can be imposed by directly substituting the corresponding terms in the system of equations. However, these shape functions are not strictly linear over non-convex boundaries and the approach does not make the test functions vanish over the whole essential boundary region. Using a-shapes in the context of the NEM allows the construction of models entirely in terms of nodes and also ensures the linear precision of the interpolant over convex and non-convex boundaries [9].

The structure of this paper is composed as the follows: in the second section we make a short introduction of recent interpolation method based on the finite element method. Section three is focused on the natural element method, with the simulation results and discussion in section four. The conclusion is made in section five.

II. REVIEW OF RECENT INTERPOLATION METHOD

In chromatogram alignment two main data are needed: the target and the reference. The goal of the alignment is to align the target data to reference data (points). The reference points are considered as the node points; interpolation is done to compute inter-node data. Let $f_k(x_k)$ be the reference nodes to be used for the interpolation of the inter-node points. The classic interpolation problem can be resumed as the construction of function $q(x): R^n \rightarrow R$, where $q(x)$ is associated to the displacement point x , such as:

$$q(x) = f(x) \quad (1.1)$$

This problem has no unique solution, as there exist an infinite number of functions $q(x)$ that satisfy the interpolation conditions Equ (1.1); depending on the criteria you want to refer to (smoothness, robustness, and efficiency). Several solutions or methods have been proposed, most of them are limited [10]. In order to include the boundary parameter in Equ (1.1) Gaspar [11] proposed Proportional Differential Equation (PDE) method, which includes the initial conditions using Laplacian function definite $q(x)$ as:

$$\begin{aligned} \nabla^2 q(x) &= 0, \quad x \notin X \quad (\text{harmonic}) \\ (\nabla^2)^2 q(x) &= 0, \quad x \notin X \quad (\text{biharmonic}) \end{aligned} \quad (1.2)$$

Both the harmonic and biharmonic interpolants are defined explicitly to satisfy the interpolation conditions (Equ (1.2)) and the initial condition (boundary). Moreover, because the Laplacian operator (∇) of any linear function is zero, both interpolants have linear precision and will exactly recover a linear function one solution of equation 1.2 is:

$$q(x) = f(x) + g_0^T (x - x_0) \quad (1.3)$$

Where g_0 and x_0 are constants according the priority of feature however, the harmonic interpolant has sharp cups at the sample points. In contrast, biharmonic interpolants are much smoother; if smoothness is our only desirable feature, then we would certainly favor biharmonic interpolation. Unfortunately, the increased smoothness of biharmonic interpolation is obtained at the cost of decreased computational efficiency. When the number of known samples is much less than the number of samples to be interpolated; a simple iterative conjugate-gradient will require solver, because much iterations converge to a sufficiently accurate numerical solution [12]. To reduce the number of iteration and also preserved the quality of smooth, Gyn and Carr [13] et al proposed Radial Basis function (RBF) methods for interpolation, which definite $q(x)$ as:

$$q(x) = \sum_{k=1}^K w_k \phi(\|x - x_k\|) \quad (1.4)$$

where $\phi(r): R \rightarrow R$ is a radial basis function (RBF) of distance r , and w_k the associate weights [14].

Equation (1.4) is the close form of harmonic and biharmonic equation. To reduce this potentially high cost, Hale[15] in 2001 proposed the following alternative blending equation that maintains linear precision while admitting RBF-like to limit the boundary condition, which is represented by:

$$q(x) - \frac{1}{e} d^{2-e}(x) \nabla d^e(x) \nabla q(x) = p(x) \quad (1.5)$$

Where $d(x)$ is the distance from x to the nearest known sample point x_k and $p(x): R^n \rightarrow R$ the value of f_k corresponding to the sample points x_k nearest point where $q(x_k) = p(x_k) = f_k$ is the initial condition (finite element and natural neighbor conditions are all satisfied); with some suitable (e.g., zero-slope) boundary conditions for domain of interest.

The blending equation (equ 1.5) may be useful because inside the Voronoi neighborhood of any known sample point x_k it has a solution of the form:

$$q_k(x) = f_k + g_k^T (x - x_k) + h_k \|x - x_k\|^r \quad (1.6)$$

Where g_k , h_k and r are constant [6], though not obvious, this solution may be easily verified by substitution into eq 1.5. However, the more the smooth criteria increases the more the solution is complex. The computation of the constant in the above formula is very subjective. In order to reduce the complexity of the interpolation and satisfy at the same time the boundary conditions we proposed natural element method. This method combines the advantage of natural neighbor interpolation and the finite element methods of interpolation.

III. PROPOSED METHOD

3.1 Natural element method

In general two approaches are associated with the finite element method: flexibility method and displacement or stiffness method [16] These two direct approaches result in different unknowns (forces or displacements) in the analysis and different matrices associated with their formulations (flexibilities or stiffness) [17]. Let $\kappa_{i,j} = \{(f_i^f, f_j^s)\}$

be the displacement of point $q(x_{i,j})$, where f_i^f , f_j^s are the coefficient of the first and second displacement respectively ($j, i = 1, 2, \dots, N$). In two dimension finite element method, the whole set of force displacement values in the column matrix is simply represented by

$$\{Q\} = [\kappa] \{U\} \quad (1.7)$$

Where $\{Q\}$, $[\kappa]$ and $\{U\}$ are the force, stiffness and displacement respectively. Eq (1.7) can be represented by the following equation:

$$\begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \kappa_{11} & \kappa_{12} & \cdots & \kappa_{1n} \\ \kappa_{21} & \kappa_{22} & \cdots & \kappa_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \kappa_{n1} & \kappa_{n2} & \cdots & \kappa_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_n \end{Bmatrix} \quad (1.8)$$

We used linear interpolation method to compute $f_{i,j}^f$, but for $f_{i,j}^s$ we proposed finite element method based on Voronoi triangulation. General equation for interpolation can be represented as follows:

$$f_j^s(x) = \sum_{k=1}^{Nn} c_j^s(x_k) u_k \quad (1.9)$$

where f_j^s ($k=1,2,\dots,Nn$) is the vector of nodal displacements, and c_j is the weighted coefficient.

Which coefficients are computed used MEN method, the geometrical approach used in this paper is based on triangulation. So, the triangular shape function is associated with each node according to the number of neighbors (Nn). The polygon with Nn nodes is decomposed in small triangles; for example, $Nn=3$ each point including in the polygon equ 1.10 can be written as:

$$f_j^s(x) = c_1 u_1 + c_2 u_2 + c_3 u_3 \quad (1.10)$$

Where $c_j(x) = \frac{A_j(x)}{A(x)}$, and

$$A(x) = \sum_{i=1}^3 A_i(x) = A_1(x) + A_2(x) + A_3(x)$$

where A_1, A_2, A_3 are the determinant (surface) delimited by the vectors $(\overrightarrow{x_{k-1}x}, \overrightarrow{x_kx})$, $(\overrightarrow{x_kx}, \overrightarrow{x_{k+1}x})$, $(\overrightarrow{x_{k+1}x}, \overrightarrow{x_{k-1}x})$ respectively with k the nearest node, and A the sum of the three determinant.

3.2 Smooth criteria

In order to satisfy continuity and the smoothness of the interpolation, the boundary conditions using finite element method are associated with nodal displacements [18]. For $Nn=3$, to keep the smoothness formula (1.10) should satisfy the following logical condition.

$$\text{If } \begin{cases} u \rightarrow u_1, A_1 \rightarrow 0, A_3 \rightarrow 0, A_2 \rightarrow A, f_j^s \rightarrow f_j^s(x_2) \\ u \rightarrow u_2, A_1 \rightarrow 0, A_2 \rightarrow 0, A_3 \rightarrow A, f_j^s \rightarrow f_j^s(x_3) \\ u \rightarrow u_3, A_2 \rightarrow 0, A_3 \rightarrow 0, A_1 \rightarrow A, f_j^s \rightarrow f_j^s(x_1) \end{cases} \quad (1.11)$$

Taking into account of condition (1.11), equa (1., 10) can be write as:

$$f^s(x) = f_j^s(x_2) c_1 u_1 + f_j^s(x_3) c_2 u_2 + f_j^s(x_1) c_3 u_3 \quad (1.12)$$

IV. SIMULATION AND DISCUSSION

The data we used in this paper is from Jonas Gros and J. Samuel Arey[6]. For the simulation: first we compute the displacement using the reference and the target peak, then we used NEM method for inter-node displacement estimation of the first and second retention. For the alignment the simulation is presented in fig 1. From fig 1 the first image is

obtained using Nearest Neighbor Method (second retention) and Linear interpolation (first retention) so we called this image>NNLIM. The second image of fig 1 is obtained using Natural Element Method "NEM" (second dimension and first dimensions).

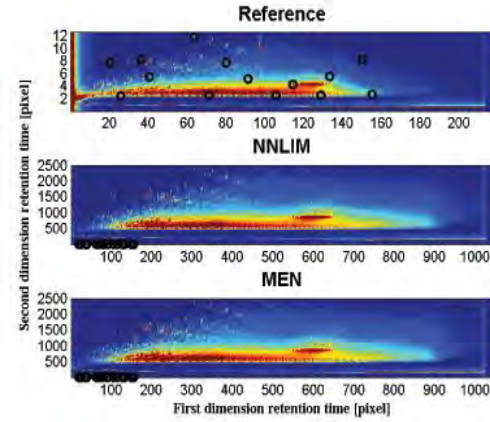


Fig 1 represents the simulation result: (a) Reference image with reference points (dash circle points) (b)>NNLIM interpolation used nearest neighbor method and linear interpolation in the first and second first retention (c) NEM interpolation used natural element method for the first and second retentions.

In order to compare the spectrum and the two approaches, we compute the residual image (fig 2) as the follows:

$$I_{res} = I_1 - I_2 \quad (1, 13)$$

where I_1 , I_2 the first (reference image) and second (target image used interpolation) image respectively. The difference between reference signal fig 1 (a) and target signal without interpolation) is represented by fig 2 (a); fig 2(b) represent the difference reference spectrum fig 1 (a) and the target spectrum obtain by using>NNLIM, and the residual image fig 2 (c) is obtain by reference spectrum fig 1(a) and target spectrum obtained using NEM interpolation method. The interpolation is done according to the reference and target points. Fig 2 (a) and fig 2(b) show a small contrast in reverse fig 2(a) and fig 2 (c) show large difference. To complete the analysis, we used root mean square (RMSE) formula as:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (I_{res})^2 / (N \times M)} \quad (1.14)$$

Where N , and M are the height and the width of the residual image I_{res} , which is represented in the following table 1.

	RSME
Reference-Target	16763
Reference-Target(NNLIM)	13565
Reference-Target(NEM)	1667

Table 1: RMSE value of residual images I_{res}

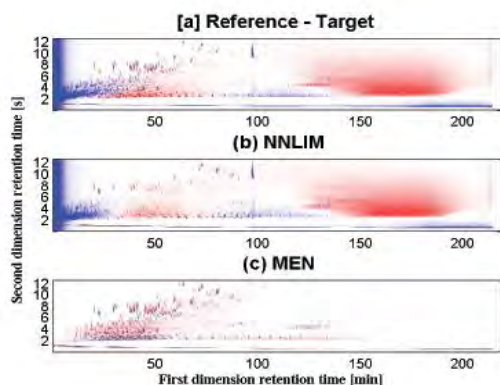


Fig 2 residual images I_{res} : (a) reference spectrum and target spectrum (without interpolation), (b) reference and target spectrum used>NNLIM and (c) reference and target spectrum used MEN.

Table 1 shows proposed method advantage, which provide and small RMSE value.

V. CONCLUSION

The natural element method based on triangulation and nearest neighbor method are been used in this paper for two dimensional interpolation. For inter-pixel interpolation we use the Delaunay triangulation for NEM the first and second retention time; and nearest neighbor interpolation method and linear interpolation for the second and first retention time respectively. Additionally, in reverse>NNLIM method of interpolation is based on the distance method but NEM interpolation depends on the shape (triangle). Distances expressed in pixels are dependent on the modulation period and sampling rate, and this may lead to arbitrary bias in the interpolation. The simulation results showed the effectiveness of NEM method over>NNLIM method.

REFERENCES

- [1] Forshed, J. Schuppe-Koistinen, I, Jacobson, S. P. peak alignment of NMR signals by means of a genetic algorithm. *Analytica. Chimica. Acta*, 2003, 487, 189-199.
- [2] Seongho Kim and Xiang Zhang. Comparative Analysis of Mass Spectral Similarity Measures on Peak Alignment for Comprehensive Two-Dimensional Gas Chromatography Mass Spectrometry. Hindawi Publishing Corpoartion, Computational and Mathematical Methods in Medicine. Vol 2013, Art ID 509761, 12 pages.
- [3] C. Lanczos, *Applied Analysis* (Prentice Hall, Englewood Cliffs. NJ, 1956) chapt. IV, § 20.
- [4] Jonas Gros, Deedar Nabi, Petros Dimitriou-Christidis, Rebecca Rutler, and J. Samuel Arey. Robust Algorithm for Alignment Two-Dimensional Chromatograms. *Analytical chemistry*. 2012, 84, 9033-9040
- [5] Daryl L. Logan. First course in the Finite Element Method. Fifth Edeition 2012. Pp 678-679, 683
- [6] A. Johansson, J. H. Chaudhry, V. Carey, D. Estep, V. Ginting, M. Larson, S. Tavener. Adaptive Finite Element Solution of Multiscale PDE-ODE Systems. Preprint submitted to CMAME Septemeber 9 2014, pp 1-25
- [7] Cruz ME, Patera AT Parallel Monte-Carlo finite-element procedure for the analysis of multi-component random media. *Int. J. Num.Meth. Eng.* 1982, 18:11-29
- [8] Boots, B.N., 1986. Voronoi (Thiessen) Polygons. Geo Books, Norwich, UK, 51pp.
- [9] Ghosh S, Mallett RL (1994) Voronoi cell @nite elements. *Computers and Structures* 50(1):33-46.
- [10] Cannmo P, Runesson K, Ristinmaa M (1995) Modelling of plasticity and damage in a polycrystalline microstructure. *Int. J. Plasticity* 11(8):949-970.
- [11] C. Gaspar. Multigrid technique for biharmonic interpolation with application to dual and multiple reciprocity method. *Numerical Algorithm* 21 (1999) 165-183.
- [12] Mitsova, Helena, and Mitso, Lubos, Interpolation by regularized spline with tension II, application to terrain modeling and surface geometric analysis: *Mathematical Geology*, v. 25, No. 6, , 1993, p. 657-669
- [13] J. C. Carr, W. R. Fright, and R. K. Beatson. Surface interpolation with radial basis functions for medical imaging. *IEEE Trans. Medical Imaging*, 16(1):96- 107, February 1997
- [14] Franke, R., Scattered data interpolation: Tests of some methods, in *Math. Comp.*, **38**, pp. 181-200, 1982
- [15] Dave Hale. Atomic images - a method for meshing digital images. In *Proceedings of the 10th International Meshing Roundtable*, pages 185-196. Sandia Nat. Lab., October 2001.
- [16] Stanley Humphries. Finite-element methods for electromagnetic. Field Precision LLC New Mexico USA January 2010. Pp 51-58, 107-119
- [17] Petr Krysl. A Pragmatic introduction to the finite element method for Thermal and stress analysis. Pressure Cooker Press San Diego November 2005, pp11-14

- [18] Pebay, P. P., and Baker, T. J. 2003. Analysis of triangle quality measures. *Math. Comput.* 72, 244, 1817–1839.

A Robust Method for Noise Extraction in Complex Mixture Signal Based on Extreme Values Distribution

Kya Abraham BERTHE^{1*}, Stephen REICHENBACH², Abdramane BA¹

¹Optical Spectroscopy and Sciences of Atmospheres Laboratory (LOSSA);

²Department of Computer Science and Engineering, University of Nebraska-Lincoln, Nebraska

Corresponding Address: berthemoni@yahoo.com

SUMMARY: In complex noise signal, noise is distributed above the baseline as well as below; however, it is desirable to give the same or similar weight in both cases. Recent baseline extraction and correction methods are based on asymmetric mean square reweighting. The drawback of these methods is, noise can be overestimated (larger weight is given) if the signal is below a fitted baseline, and in reverse under estimated when the signal is above a fitted baseline (weight is null). In this paper we proposed a robust baseline correction method based on extreme value distribution. The parameters of the extreme value distribution function are selected according to the statistic properties of the signal (spectrum). We also proposed an efficient algorithm to solve the optimization problem of the asymmetrical least square function parameters. The new method is extended to multi-spectrum baseline extraction. Experimental results on both simulated data demonstrate the effectiveness and efficiency of the algorithm.

Keywords: Signal processing, spectrum analysis, baseline optimization, Extreme values distribution function, Gumbel, Weibul distribution.

I. INTRODUCTION

Data processing techniques for dealing with various wavelengths are extremely variable. Nearly all of them share a common pre-processing step. Which is the removal of extraneous signal (sometime called background or baseline signal) from the data of interest [1]. The baseline can be caused by a large number of factors depending on the type of spectrum and interferences. Accurate interpretations of spectrum data is really crucial for the estimation and removal of a baseline signal (RBL) [2]. Because the baseline correction problem is common to many areas of spectrum analysis, a large variety of techniques have been proposed to solve it. To date, there has been no significant effort to unify these methods in a way that highlights the similarities and differences between them [3, 4].

Based on an extensive review of existing literature, we propose a framework baseline removal (BLR) method, as well as the computational structures that describe their implementation. Most importantly, this framework supports automated construction of novel BLR techniques, allowing the baseline correction algorithm itself to be optimized and automated for particular applications or types of spectrum [5, 6].

The nature of background and additive noise make it is hard to correct baseline. Existence of the baseline and random noises can negatively affect qualitatively or quantitatively peaks alignment in spectrum analysis, since the baseline always appears as a sample-independent smooth curve. It should be fitted and corrected routinely to mitigate the negative

influence in order to improve peak detection and alignment. Several peak detection algorithms have been proposed [3, 6]. However, different shortcoming and drawbacks have been pointed out as: (i) true signal could also be removed during the process; (ii) baseline removal step may get rid of true peaks and create new false peaks; (iii) in peak quantification step, a threshold of signal-to-noise ratio (SNR) is usually used to remove false peaks, however, noise estimation in SNR calculation are often inaccurate in either time or wavelet domain.

Generally, in complex noise signal, noise is distributed above the baseline as well as below; however, it is desirable to give the same or similar weight in both cases. Recent baseline extraction and correction methods are based on asymmetric mean square reweighting. Most of the existing methods need the prior knowledge of the type of noise. In this approach, Zhi-Min et al [1] have proposed adaptive iteratively reweighted Penalized Least Squares (airPLS) which does not require any intervention and prior information.

In this paper, we present an algorithm for fast and optimal smooth parameters of baseline extraction based on extreme value distribution function. The paper is organized as follows: in the next section a review of recent PLS method including research on PLS optimization is presented. Section 3 is focused on the framework of the proposed method, with simulation and discussions. The conclusion is presented in section four.

II. REVIEW PLS FOR BASELINE EXTRACTION

II.1 Introduction

Recent years have seen the effectiveness of least square method for background noise (baseline) extraction. Background noise or baseline signal degrades the accuracy and precision of analysis; it also reduces the detection limit of the instrumental technique. The choice of the type of baseline correction method and peak delineation algorithm strongly influences the reproducibility of the analyzed signal. General baseline estimation formula can be represented by (see reference [1, 4, 7]):

$$Q = S + R \quad (1.1).$$

Where (S) is the sum of squares of the residuals difference between the signal y (original signal or spectrum) and the estimate baseline z . R is the penalized function, it characterizes the roughness of z . In order to compute S, a diagonal matrix W is introduced, in which the diagonal elements are call the weight w_i . Penalized function R is generally represented by the following function:

$$R = k_1 |D_1 z|^2 + k_2 |D_2 z|^2 \quad (1.2)$$

Where k_1 , k_2 are the smoothness factors for the first and second order variation of R. The choice of factors coefficient greatly affect the smoothness of the baseline. The matrix D_1 and D_2 (see reference [1, 4]): By combining equ 1 and 2 we get the second order of penalized least square function which can be write as the follows [1,8]

$$Q = |y - z|^2 + k_1 |D_1 z|^2 + k_2 |D_2 z|^2 \quad (1.3)$$

Adding the above parameters equ 3 can be change to the following penalized least square function

$$Q = (y - z)^T W (y - z) + k_1 z^T D_1^T D_1 z + k_2 z^T D_2^T D_2 z \quad (1.4)$$

Where D_1^T and D_2^T are the transposed of D_1 and D_2 respectively.

By using mathematical approach, equ 4 can be resolved by finding the vector of partial derivatives and setting it to zero, i.e., $\partial Q / \partial z = 0$ the solution of minimization problems of equ (4) is given as follows:

$$\partial Q / \partial z = -2W(y - z) + 2k_1 D_1^T D_1 z + 2k_2 D_2^T D_2 z = 0 \quad (1.5)$$

The solution of equ (5) is:

$$z = (W + k_1 D_1^T D_1 + k_2 D_2^T D_2)^{-1} W y \quad (1.6)$$

The optimization framework of equ 4, can be resolve using Hodrick-Prescott filtering algorithm. Up to a constant factors or coefficients (k_1 , k_2 , and w_i), the optimization of equ (4) is equivalent of the minimization of following equation [1,4]:

$$z = \arg \min_i \left\{ \sum_i w_i (y_i - z_i)^2 + k_1 \sum_i (\Delta z_i)^2 + k_2 \sum_i (\Delta^2 z_i)^2 \right\} \quad (1.7)$$

Where i the i^{th} iteration. Since many solutions exist, the best way can be find by resolving equ 7, which can be resume as the optimization problem in order to get the best z_i .

II.2 Optimization framework

The optimization framework is mostly based on the resolution of equation 7. The researches of optimal solution of equ 7 is focused on two main types of parameters: (a) computation of weighting vector w_i of W and, (b) the choice of smooth control factors (k_1 , k_2).

II.2.1 Weight vector computation

Efficient algorithm for weight vector computation is the main issue for effective baseline extraction. In this paper we focused on the recent mathematical approach of computation. The weight component w_i is definite according the sign of the different between the original y signal and the estimated signal z . AsLS method weight computation can be resume as: w_i is p if $y_i - z_i \leq 0$ and w_i is $1 - p$ if $y_i - z_i > 0$ for each iteration, where p is a constant belonging to interval $[0,1]$. As well as we can remark this method gives a fix value during all iteration according the sign of $y_i - z_i$. Weights in the pure baseline region must be set according to the differences between the previously fitted baseline signal and the original signals. The constancy of w_i for each iteration is also pointed out. In this respect, Zhang et al[1] proposed airPLS (adaptive iteratively reweighted Penalized Least Squares) method. AirPLS weight assignment can be resumed as follows: for signal (y_i) greater than the candidate of the baseline (z_i), noise can be regarded as a part of the peak; thus weight is set to zero; otherwise the weight vector w_i is obtained adaptively. That is a natural consequence because weights are set to zero or near zero where signals are above a fitted baseline. As signals below a fitted baseline get much more weights, a baseline is re-estimated downward to reduce equ 4. The problem of the method is the final baseline is underestimated in the no peak region and the height of peaks might be overestimated. To resolve this drawback Sung-June et al [4] 2015, propose a partially balanced weighting called arPLS (asymmetrical re-weighted Penalized Least Square) method. They compute the weight vector by introducing the so call logistic function which is an exponential function.

II.2.2 Choice of smooth factors

Relative to penalized least square method smoothing parameters optimization, several methods of

techniques are used to compute or choose the smooth parameters. The smooth factors k_1 , k_2 are not determined in most cases by computation, but they are matter of choice of empirical investigators, in general only based on “prior beliefs” [9, 10].

Eilers and Goeman [11] uses the first and second differential matrix order in penalized Least square methods for data smoothing. For the selection of smooth factors many approaches have been used depending of the type of signal; for example Gianluca [12, 13] chooses $k_1 = k_2 = \lambda$ in case of non-isotropic smoothing data, where λ a positive constant selected empirically.

Many of the approaches in which $k_2 \neq 0$ and $k_1 \neq 0$ are used for signal smoothing not baseline extraction, example in 1994 Eilers [14, 15] et al used both a first (k_1)- and second (k_2)-order penalty to control the smoothness to analysis data definite by:

$$\begin{cases} k_2 = \lambda^2 \\ k_1 = \alpha\lambda \end{cases} \quad (1.11)$$

Where λ is a constant mostly selected empirical, which is selected in order to keep the impulse response from becoming non-positive. The same formula have used bay Paul H. C. et al. [5] by selecting $\alpha = 2$. Some authors [] use cross-validation method to determine k_2 and k_1 . In this paper we modified equ 10 to compute the smooth parameters

III. PROPOSED METHOD

III.1 Weight computation

As well as the last recent methods (AsPLS, airPLS and arPLS) the propose method uses asymmetric weight distribution to compute w_i . We adopt a partially balanced weighting scheme depending on whether the signal is greater or lesser than the baseline. Thus, we define a logistic function [16] according the sign of $d_i = y_i - z_i$, let be d_i^- , d_i^+ the set of data for $d_i \leq 0$ and $d_i > 0$ respectively, we used the following partially balanced asymmetric weights distribution formulas.

$$w_i = \begin{cases} \text{logistic}(d_i^-, m_-, \sigma_-) & \text{if } d_i \leq 0 \\ \text{logistic}(d_i^+, m_+, \sigma_+) & \text{if } d_i > 0 \end{cases} \quad (1.12)$$

Where, m_- , σ_- the mean and standard deviation of d ; and m_+ , σ_+ the mean and standard deviation of d .

$$w_i = \begin{cases} \text{logistic}(d_i^-, m, s) = \frac{s}{1 + e^{(d(d \leq d) + s)/m}}, & \text{if } d \leq 0 \\ \text{logistic}(d_i^+, m, s) = \frac{s}{1 + e^{(d(d > d) + s)/m}}, & \text{if } d > 0 \end{cases}, \quad (1.13)$$

Where $m_+ = \text{mean}(d > 0)$ $m_- = \text{mean}(d < 0)$,

$s_+ = \text{std}(d > 0)$ $s_- = \text{std}(d < 0)$,

$$m = \sqrt{(m_+)^2 + (m_-)^2}, \quad s = \sqrt{(s_+)^2 + (s_-)^2},$$

$$w_i = \begin{cases} \text{logistic}(d_i^-, m_-, \sigma_-) = \frac{X_{\text{aver\_dis}}}{1 + e^{((d \leq 0) + X_{\text{aver\_dis}})/Z_{\text{aver\_dis}}}} \\ \text{logistic}(d_i^+, m_+, \sigma_+) = \frac{X_{\text{aver\_dis}}}{1 + e^{((d > 0) + X_{\text{aver\_dis}})/Z_{\text{aver\_dis}}}} \end{cases} \quad (1.14)$$

Where $s_{\text{aver\_dis}} = \sqrt{s_{\text{max}}^2 + s_{\text{min}}^2}$,

$$Z_{\text{aver\_dis}} = \sqrt{z_{\text{max}}^2 + z_{\text{min}}^2}, \quad s_{\text{max}} = \max(s),$$

$$s_{\text{min}} = \min(s), \quad z_{\text{max}} = \max(z) \text{ and } z_{\text{min}} = \min(z).$$

IV. SIMULATION RESULTS AND DISCUSSION

For the simulation in the first iteration, we selected the initial value of w_i to 1, and the second iteration w_{i+1} is computed using formula 1. 12. Using this approach the average value of z_i will decrease as well as the number of iteration increase.

To compare the previous three methods, we used RSME (root mean square error) method used the following formula:

$$RSME(\lambda_z) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - z_i)^2 / N} \quad (1.18)$$

Where N is the length of the spectrum (y and z are same length). In table 1 we compute RSME by making the variation of λ and $\alpha = 2$ in order to find an optimal smooth signal z_i . And according to the above consideration, $RSME$ will increase until the baseline z_i reached its optimal value and will decrease if the baseline z_i is more than optimal value. The simulation value is presented in table 1.

Method	Smooth coef lambda	RSME
asPLS (p=0.05)	100000	15.8563
airPLS	100000	13.0467
arPLS	1356	16.5961
proposed	3	16.5895

Table 1. Value of λ and RSME for each method.

To compare the proposed method, we first fix $\alpha = 2$ and make λ variable the result of the simulation presented in table 1; then we maintained $\alpha = 2$ and λ constant; the results of which results is presented in table 2.

Method	$\lambda=3$	$\lambda=10$
	RSME	RSME
asLS	3.2276	5.2763
airPLS	0.9668	1.9498
arPLS	15.1576	16.0306
Proposed	16.5895	16.6119

Table 2: Simulation result by fixing the smooth parameters.

Table 1 and 2 show the efficiency of the proposed method, which has a big value of RSME.

V. CONCLUSION

In this paper we investigated the combination of first and second order penalization in order to get the best baseline extraction. We also used a logistic function distribution to compute the weight vector. Our new framework allows easier and more insightful comparisons among existing correction algorithms and also can be used to any application baseline extraction application. This eliminates the need for users to spend valuable time learning the internals of existing approaches in order to facilitate educated choices about which method is best for their application. The method requires no prior knowledge about the sample composition, no peak detection, and no mathematical assumption of background noise distribution.

REFERENCES

- [1] Zhi-Min Zhang, Shan Chen and Y-zeng Liang. Baseline correction using adaptive iteratively reweighted penalized least squares. The Royal Society of chemistry Analysis 2010, 135, 1138-1146.
- [2] Rukhshinda Jabeen. Automated Baseline Estimation for Analytical signals. Dalhousie University Halifax, Nova Scotia August 2013, pp
- [3] Paul G. Stevenson, Xavier A. Conlan, Neil W. Barnett. Evaluation of the asymmetric least squares baseline algorithm through the accuracy of statistical peak moments. Journal of chromatography A. 1284, (2013) 107-111.
- [4] Sung-June Baek, Aaron Park, Young Jin Ahn, and Jaebum Choo. Baseline correction using asymmetrically reweighted penalized least squares smoothing. Royal society of chemistry. Analyst 2015, 140 250-257.
- [5] Paul H. C. Eilers, Brian D. Marx and Maria Durban. Twenty years of P-splines. SORT 39 (2) July-December 2015, 1-38
- [6] Bin Wang, Wenzhong Shi, and Zeland Miao. Comparative Analysis for Robust Penalized Spline smoothing Methods. Hindawi Publishing Corporation, Mathematical Problems in Engineering. Vol 2014, Article ID 642475, pp 11
- [7] P.H. Eilers, Parametric time warping, Anal. Chem. 76 (2) (2004) 404-411
- [8] R. Chartrand and W. Yin, "Iteratively reweighted algorithms for compressive sensing," in IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2008, pp. 3869- 3872.
- [9] Dinesh Kumar, Umesh Singh and Sanjay Kumar Singh. A Method of Proposing New Distribution and its Application to Bladder Cancer Patients Data. Journal of Statistics Applications & Probability Letters 2, No. 3, 235- 245 (2015)
- [10] Hodrick, R. and Prescott, E. C. (1997): Postwar U.S. business cycles: An empirical investigation. Journal of Money, Credit and Banking. 29(1), 1-16.
- [11] Eilers, P. H. C. and Marx, B. D. (2010). Spline, knots and penalties. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational statistics, 2, 637-653.
- [12] Schall, R. (1991) [Gianluca Frasso.]. Estimation in Generalized Linear Models with random effects. Biometrika 78 (4), 719-727.
- [13] Sabine Schnabel. Expectile smoothing [Gianluca Frasso.]: new perspectives on asymmetric least squares. An application to life expectancy Proefschrift Universiteit Utrecht, Utrecht, ISBN 978-90-393-5613-5. Printed by Ipskamp Drukkers, Enschede, The Netherlands. 2011
- [14] P.H. Eilers, Parametric time warping, Anal. Chem. 76 (2) (2004) 404-411
- [15] Eilers, P. H. C. and Marx, B. D. (2010). Spline, knots and penalties. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational statistics, 2, 637-653.
- [16] Kya Abraham Berthe, Abdramane B, and Setephan Reichenbach. Gumbel Weibull distribution function for Sahel precipitation modeling and predicting: case of Mali. African Journal of Environmental Science and Technology. Academic Journals Vol. 9(5), pp. 405-412, May 2015.

SANTE PUBLIQUE ET PHARMACOPÉE TRADITIONNELLE

Effets de l'utilisation des intrants agricoles sur la santé des producteurs des exploitations de l'Office du Niger de Niono au Mali

TRAORE B B.¹, SAMAKE D.¹, KEITA K.¹, MONDEDJI A. D.², COULIBALY C. O., DOUMBIA A.¹, CISSE A., S.¹, GLITHO A. I.²

¹ Université des Sciences, des techniques et des Technologies de Bamako

² Laboratoire d'Entomologie Appliquée, Faculté des Sciences, Université de Lomé.

Adresse de correspondance: brahimab.traore@usttb.edu.ml

RESUME : L'utilisation d'intrants agricoles sans mesure de sécurité affecte dangereusement la santé des agriculteurs. Cette étude réalisée dans deux zones de l'Office du Niger au Mali, vise à (1) analyser les caractéristiques socio-démographiques des producteurs, (2) répertorier les différents types d'intrants utilisés, (3) recenser les mesures de protections prises par les exploitants avant et après pulvérisation et (4) identifier l'impact des traitements phytosanitaires sur la santé des producteurs. L'étude est basée sur une enquête transversale descriptive et analytique auprès des producteurs. L'échantillonnage est probabiliste et en grappe. Les données recueillies ont montré que 67% des producteurs sont musulmans, la classe d'âge 15-24 ans est prédominante et 55,8% sont des femmes. Le niveau d'instruction est faible et ne dépasse pas le secondaire. Environ 93,% des producteurs n'ont jamais suivi une formation sur les risques liés à l'utilisation des intrants. Les engrais et plusieurs groupes de pesticides sont utilisés par ces exploitants sans mesure de protection adéquate. 53,8%) des enquêtés ont déjà été victimes de problèmes de santé sans prise en charge réelle. Les troubles sanitaires rencontrés sont les céphalées (38,5%), les crampes musculaires (26,9%), les difficultés respiratoires (25,9%) et les dermatomycoses (24%).

Mots clés: Intrants agricoles, santé des producteurs, Niono Mali.

I. INTRODUCTION

L'augmentation des rendements de l'agriculture constitue une approche de solution pour assurer une sécurité alimentaire aux populations africaines de plus en plus croissantes. Malheureusement, les producteurs sont généralement confrontés à d'énormes problèmes parmi lesquels la pauvreté des sols en nutriments et la pression des ravageurs et des pathogènes (Mondédji *et al.*, 2015). Ceci les pousse à utiliser de façon abusive et inappropriée des engrais et des pesticides dans la production agricole. En effet, pour l'amélioration du rendement de leurs cultures, hormis la fumure organique, les agriculteurs ont recours à la fertilisation minérale et à l'utilisation des pesticides (PAN-Africa, 2000 ; PAN-UK, 2005 ; Dovlo, 2007 ; Mondédji *et al.*, 2014a ; Mondédji *et al.*, 2014b). L'un des problèmes liés à l'utilisation des intrants agricoles dans les zones d'exploitation de l'Office du Niger de Niono au Mali, est la non maîtrise de l'hygiène et de la sécurité lors de la gestion des stocks et de l'application des produits phytosanitaires. Ceci conduit non seulement à la dégradation et à la pollution des sols, des eaux de surface (par ruissellement) et des eaux souterraines (par infiltration et par lessivage) (Devine & Furlong, 2007), mais aussi affecte la santé humaine et animale (Toé *et al.*, 2001 ; Thiam, 2004). Les nitrates, les nitrites, les phosphates, les pesticides et les métaux lourds issus des applications minérales et organiques, polluent les eaux de surface et la nappe

phréatique (puits), dégradant ainsi la qualité des eaux (Giroux, 2003 ; BGRM, 2008) et mettant en danger la santé des populations locales (USEPA, 1977 ; Schiavon *et al.*, 1995).

Plusieurs études de santé publique ont démontré les risques d'effets aigus et chroniques pour les agriculteurs exposés aux intrants (pesticides essentiellement) (Maddy *et al.*, 1990 ; Emans *et al.*, 1992 ; A. Maiga 1992 ; Samuel & Lefevre, 1994 ; Baldi *et al.*, 1998 ; Fear, 1998 ; Onil, 2005). Les problèmes sont d'ordre respiratoire, cutané, neurologique, reproductif, etc. Parmi les effets d'ordre dermatologique et respiratoire, on observe les érythèmes, les œdèmes, les urticaires, les éruptions cutanées, les dermatites, les allergies, la toux chronique, l'asthme, la dyspnée, la rhinite ainsi qu'une baisse de capacité respiratoire chez les agriculteurs exposés aux pesticides, pour ce qui est de la toxicité aiguë. Pour la toxicité chronique, des effets à long terme sont suspectés bien que le lien réel entre ces affections et l'utilisation des intrants ne soit pas explicité. Certaines affections comme les cancer (les lymphomes, la leucémie ainsi que le cancer des tissus conjonctifs, du cerveau et de la prostate) (Fear *et al.*, 1998), l'hypofertilité et l'avortement spontané sont signalés chez les agriculteurs qui utilisent les pesticides sans mesure de sécurité adéquate.

D'autres études indiquent que 36% des femmes qui manipulent les pesticides à raison de 2250 heures par année, ont eu de fausses couches à

la vingtième semaine de grossesse en comparaison avec un taux de 12% observé chez les femmes qui ne sont exposées aux pesticides que pendant 250 heures annuelles (Gagné, 2004). Les pesticides pourraient également être responsables de malformations chez les nouveaux-nés de parents agriculteurs exposés.

Partant de l'hypothèse que l'utilisation des engrais et des pesticides a des conséquences sanitaires chez les exploitants agricoles, l'objectif de cette étude est de contribuer à mieux définir les risques sanitaires liés à l'utilisation des intrants agricoles (pesticides et engrais) par les producteurs de l'Office du Niger de Niono au Mali. Plus spécifiquement, il s'agit de (1) analyser les caractéristiques socio-démographiques des producteurs, (2) répertorier les différents types d'intrants utilisés, (3) recenser les mesures de protections prises avant et après pulvérisation et (4) identifier l'impact des traitements phytosanitaires sur la santé des exploitants.

II. MATERIEL ET METHODES

L'étude a couvert six villages de l'Office du Niger au Mali à Niono : Sériwala, Foabougou, Pogo, Thing, Bagadadji (KM 36) et Niono. La zone jouit de la traversée du fleuve Niger.

L'office du Niger est un périmètre de culture irriguée aménagé sur le delta intérieur du Niger au Mali, à environ 250 km en aval de la capitale Bamako. Son climat de type sahélien est marqué par une saison pluvieuse de juin à septembre et une saison sèche octobre à mai. Les températures moyennes mensuelles varient de 19,6 à 35,2 °C au cours de l'année et les précipitations moyennes annuelles tournent autour de 661 mm (Dembélé 2013). L'humidité relative est comprise entre 40 et 50%. Le choix de cette zone a été guidé par le fait qu'elle est l'une des principales zones de production agricole au Mali.

Cette étude a été réalisée sur la base d'une enquête transversale, descriptive et analytique. Elle s'est déroulée auprès de 104 exploitants agricoles ayant séjourné 3 mois (au moins) dans la zone en septembre 2013. Le mois de septembre représente la fin de la saison et la période où il y a habituellement plus d'affections déclarées au niveau des centres de santé de la zone. La collecte des données a été effectuée à partir d'une enquête réalisée dans six (6) villages. Les principales données collectées lors de cette enquête ont pris en compte globalement les caractéristiques socio-démographiques des exploitants agricoles, l'utilisation des pesticides et des engrais, les précautions prises pendant et après l'utilisation des intrants et les conséquences sur la santé à court et à long termes. Elle a été réalisée à travers des entretiens individuels et de groupe focalisé auprès des producteurs et la collecte des fiches de stocks d'intrants agricoles et des fiches de stocks de médicaments.

Méthode d'échantillonnage

Tous les exploitants vivant dans une zone d'étude, âgés de 15 à 60 ans sont concernés. Cependant il y a dans la zone la présence d'enfants de 0 à 15 ans. Notre étude a pris en compte seulement les personnes âgées de 15 à 60 ans ayant séjournées au moins 3 mois et travaillées dans la zone.

La méthode d'échantillonnage utilisée est probabiliste. La technique utilisée est celle de grappe pour les exploitants et le choix décidés b pour la zone. La taille de l'échantillon a été calculée sur la base de la formule de Schwartz :

$$n = [\varepsilon^2 \times P(1-p) \times 1.5] / I^2$$

$$\varepsilon = 1,96 ;$$

$$p = 0,5 : \text{Prévalence non déterminée en 2012}$$

$$I = \text{précision de l'étude} = 5\%$$

$$\text{Effet grappe} = 1,5$$

$$n = [(1,96)^2 \times 0,5 \times 0,5 \times 1,5] / (0,05)^2 = 576$$

L'échantillonnage aurait dû porter sur 576, mais seulement 104 étaient restés travailler dans la zone et pendant trois mois.

Traitement des résultats d'enquête

Les informations collectées au cours des enquêtes ont été premièrement transcrites en code afin de faciliter leur traitement informatique. Après cette codification, une base de données a été créée à l'aide du logiciel Excel. Le traitement des données a consisté à extraire de la base de données, les tableaux dynamiques croisés conformément aux objectifs de l'étude. Certains résultats ont été comparés avec un test de χ^2 de Pearson.

III. RESULTATS

1. Caractéristiques socio-démographiques des exploitants agricoles

Différents aspects ont été pris en compte pour les caractères socio-démographiques.

Tableau I Répartition des exploitants selon l'âge, le genre, la situation matrimoniale, la zone de résidence, l'ethnie et la religion

Paramètres sociodémographiques		Nombre d'exploitants (n=104)	Pourcentage (%)
Age	15 à 24 ans	79	76
	Plus de 24 ans	25	24
Genre	Femme	58	55,8
	Homme	46	44,2
Situation matrimoniale	Marié	71	68,3
	Autres	33	31,7
	Bambara	47	45,2

Ethnie	Peulh, sarakolé	57	54,8
Religion	Islam	69	67
	Christianisme	32	30,5
	Animisme	3	2,5

La répartition des exploitants agricoles suivant l'âge et le genre, la situation matrimoniale, l'ethnie et la religion a montré que l'âge varie de 15 ans à 60 ans. Les données recueillies et traitées ont montré que les personnes d'âge compris entre 15 et 24 ans ont été prédominantes (76%). Seulement 16,3% des producteurs sont des femmes, cependant elles sont impliquées à 55,8% dans les travaux rizicoles. Le niveau d'instruction est faible et ne dépasse pas le secondaire. Environ 70% des enquêtés sont mariées. L'ethnie majoritaire est le Bambara avec un taux de 45,2%. Soixante-sept pour cent (67%) des producteurs sont musulmans. Les chrétiens et les animistes représentent 30,5% et 2,5% respectivement (Tableau I).

Tableau II Répartition des exploitants selon le niveau d'instruction et leur formation sur les risques liés à l'utilisation des intrants

Niveau d'instruction	Nombre	Pourcentage
Primaire	41	39,4
Secondaire	12	11,5
Aucun	51	49,1
Total	104	100
Formation sur les dangers liés à l'utilisation des engrais et des pesticides	97	93,3

La répartition des producteurs suivant le niveau d'instruction (Tableau II), montre que 49,1% d'entre eux sont illettrés, 39,4% ont le niveau du cours primaire et 11,5% celui du cours secondaire. Au total, 88,5% ont un niveau d'instruction inférieur ou égal au cours primaire. La quasi-totalité (93,3%) d'exploitants n'a jamais reçu de formation sur les dangers liés à l'utilisation inappropriée des engrais et des pesticides.

2. Identification des types d'engrais et de pesticides utilisés

Les types d'engrais

En plus des engrais organiques comme le fumier naturel (ordures ménagères), la bouse de vache, les excréments des petits ruminants et la fiente de volailles, des engrais minéraux sont utilisés par l'ensemble des exploitants pour fertiliser le sol. Les principaux fertilisants minéraux utilisés sont des engrais simples (urée et DAP) et complexes comme le NPK avec différentes proportions des minéraux N,

P, et K ; et le PATENERE composé de N, Mg, PO₄, Zn, K et S (Tableau III).

Tableau III: Engrais minéraux utilisés par les exploitants agricoles de l'Office du Niger

Type de produits	Nom commercial	Composition chimique
Engrais minéraux simples	Urée 46%	Urée
Engrais minéraux Complexes	Diamonium Phosphate - NPK 10-8-10 - NPK 10-20-20 - NPK 20-20-20	DAP 18-44-0
	NPK 15-15-15 (Gnéleni)	Nitrate, Phosphore, Potassium, Sulfates Zinc 16+26+12+4,55+0,3Zn
	PARTENERE	Azote 18%, Magnésium 1,9%, Phosphate 9% Zinc 0,02%, Potassium 20%, Soufre 3,8%

Les classes de pesticides

Plusieurs groupes de pesticides sont utilisés. Il s'agit d'insecticides, d'herbicides, de fongicides et de nématicides (Tableau IV). Les principales classes des pesticides utilisés sont : les pyréthrinoides, les organophosphorés et les organochlorés.

Tableau IV: Pesticides utilisés par les exploitants agricoles enquêtés à l'Office du Niger au Mali

Nature du produit	Nom commercial	Composition	Classe du produit
Insecticides	K Optimal	Lamda-cyhalothrine 15g/dl+acétamipride 20 g/dl	Pyréthrinoides
	Savahaller	Methamyl 25	Organophosphoré
Herbicides	Samory	Bensulfuron methyl 100g/kg	Organochloré
	Roundup 450	450 g/l de Glyphosate	Organophosphoré
	Herbextran 720 SI	2,4-D.sel d'amine	Organochloré

	Killer 480 SL	450 g /l de Glyphosate + sel d'isopropylamine	Organophosphoré
Fongicides	Insector-T	Imdaclopride 350 g/kg+Thiram 250g/kg	-
	Caïman rouge P	Perméthrine 25 g/kg+Thiram 250 g/KG	Pyréthrinofide
Nématicides	Carbofuran	Furadan	-

Mesures de protection et gestion des stocks et emballages vides des produits phytosanitaires

Aucun exploitant enquêté ne prend une mesure de protection individuelle intégrale avant l'utilisation des intrants. Le stockage des intrants se fait dans les concessions par 76% des utilisateurs. Les emballages vides des produits phytosanitaires sont jetés à l'air libre par 52% des enquêtés (Tableau V). Le reste (48%) les enfouit dans le sol ou les brûle.

Tableau V : Mesures de protection individuelle et gestion des produits

Mesures de protection	Nombre	Pourcentage (%)
Port d'équipement intégral de protection	0	0
Précaution après l'utilisation Ceci est en contradiction avec le tableau VI	0	0
Stockage d'intrants à la maison	79	76
Emballages vides des produits	55	52

Répartition des exploitants selon les dispositions prises avant et après l'utilisation des intrants

Avant l'utilisation des intrants, 87,5% des exploitants ne prennent aucune disposition pour se protéger. Seul 1 à 6,7% porte tout au plus des gants et des bottes ou des gants et un masque ou encore des gants et un cache nez (Tableau VI). Après la pulvérisation, seuls 12,5% des exploitants prennent un bain immédiatement et changent de vêtements. D'autres (19,2%) prennent des mesures comme la consommation du lait ou encore son association avec le bain et le changement de vêtements (31,7%) (Tableau VI). Ceci est une mauvaise mesure, car au contraire le lait dissipe les polluants dans le sang. Cela prouve que les paysans font de l'automédication par faute de conseil dans ce sens.

Tableau VI : Répartition des exploitants selon les dispositions prises avant et après pulvérisation

Dispositions prises avant pulvérisation	Nombre	Pourcentage (%)
Aucun	91	87,5
Cache nez	02	01,9
Gants	02	01,9
Gants + Bottes	01	01
Gants+ Cache nez	07	06,7
Gants + Masque	01	01
Total	104	100
Dispositions prises après pulvérisation	Nombre	Pourcentage (%)
Aucune disposition	05	04,8
Bain immédiat	11	10,6
Changement de vêtements	20	19,2
Consommation de lait	20	19,2
Bain + Changement de vêtements	13	12,5
Bain + consommation de lait	01	01
Changement de vêtement + Consommation de lait	02	01,9
Toutes les mesures citées	32	30,8
Total	104	100

Le tableau VII montre que 53,8% des exploitants enquêtés et vivant dans la zone de l'Office du Niger de Niono, ont été au moins une fois victimes de problèmes de santé à la suite de l'utilisation d'intrants agricoles.

Tableau VII : Répartition des exploitants suivant la survenue de problèmes de santé ou non suite à l'utilisation d'intrants agricoles

Survenue de problèmes de santé	Nombre	Pourcentage (%)
Oui	56	53,8
Non	48	46,2
Total	104	100

L'entretien et les observations effectués auprès des exploitants ont révélé des troubles dont les plus importants sont mentionnés dans le tableau VIII. Il s'agit essentiellement de troubles neuromusculaires (insomnie, céphalées, troubles comportementaux, troubles de la mémoire, fourmillements, crampes et contractures) pour 76% des exploitants; de problèmes cutanés (les dermatoses, les prurits cutanés, l'intertrigo, les dermatomycoses ou pieds d'athlète, l'onyxis et le périonyxis) pour 51% la diarrhée, de perturbations respiratoires pour 53% dans ce cas une même personne peut avoir plus d'une maladie. Plus de 90% des exploitants se sont plaint de l'odeur des produits chimiques. Les conditions de stockage domestique des intrants conduisent à des nuisances.

Tableau VIII: Répartition des exploitants suivant les problèmes de santé ressentis suite à l'utilisation des intrants agricoles

Problèmes de santé	Nombre	Pourcentage (%)
Problèmes neuro-musculaires	79	76
Troubles respiratoires	55	53
Problèmes cutanés	53	51

Impact de la durée de séjour de l'exploitant sur la survenue des troubles du système nerveux central

Les troubles du système nerveux central surviennent plus chez les exploitants de la zone inondée (70,7 à 80,4%) que chez ceux de la zone exondée (19,6 à 29,3%) (Tableau IX). Cependant il n'y a pas de différence significative entre le temps passé dans une zone par l'exploitant et la survenue de troubles du système nerveux central ($X^2 = 1,17$ ddl = 2 ; $p = 0,55$).

Tableau IX: Impact de la durée et du lieu de séjour de l'exploitant sur la survenue des troubles du système nerveux central

Temps passé sur les périmètres maraichers	Taux de cas de troubles du système nerveux central		Total (%)
	Inondée	Exondée	
< 1 an (n=41)	70,7	29,3	100
1-5 ans mois (n=12)	75,0	25,0	100
>5 ans (n=51)	80,4	19,6	100
Total (n=104)	76,0	24,0	100

$X^2 = 1,17$ ddl = 2 ; $p = 0,55$

Tableau X : Impact de la durée et du lieu de séjour de l'exploitant sur la survenue des troubles du système nerveux autonome.

Temps passé dans la Zone	Taux de cas de troubles du système nerveux autonome		Total (%)
	Inondée	Exondée	
<1 an (n=41)	53,7	46,3	100
1-5 ans (n=12)	58,3	41,7	100
>5 ans (n=51)	58,8	41,2	100
Total (104)	56,7	43,3	100

$X^2 = 0,26$ ddl = 2 $p = 0,8$

Il n'existe donc pas de relation statistiquement significative entre le temps passé dans une zone et la survenue de troubles du système nerveux autonome.

IV. DISCUSSION

Cette étude a permis d'identifier la classe d'âge prédominante des exploitants agricoles dans les zones d'étude. Elle se situe entre 15 et 24 ans. Les hommes producteurs sont majoritaires, car du point de vue coutumier, la terre appartient au chef de famille, qui est l'homme. Les femmes sont majoritairement impliquées dans les travaux de repiquage, désherbage et ensilage. Elles sont les plus exposées aux maladies notamment celles de la peau, car le désherbage se fait après épandage des engrais et des pesticides (Diallo, 1993). Les exploitants sont à majorité musulmans. Le niveau d'instruction des agriculteurs enquêtés est faible et explique en partie leur manque de prise de conscience des dangers liés aux intrants et l'absence de comportement de sécurité. L'absence de formation vient renforcer les comportements à risque des exploitants pour qui les rendements sont le seul facteur à prendre en compte. Les odeurs des intrants stockés dans les habitations auraient dû être pour les exploitants un signal d'alerte de nuisances et les pousser à prendre un minimum de précautions avant de manipuler ces produits. Or l'étude montre qu'ils ne prennent que très peu de mesure de sécurité lors de l'utilisation des intrants. Une enquête réalisée au Togo par Améwuamé (2006) auprès des maraîchers montre que 96% de ceux-ci ne prennent aucune mesure de protection pendant les traitements phytosanitaires. La quasi absence totale des équipements adéquats pour l'épandage des intrants dans les petites exploitations agricoles est à l'origine de l'empoisonnement permanent des hommes et des animaux.

L'étude montre qu'au moins 50% des producteurs ont des problèmes de santé souvent chroniques.

Des malaises liés à la pulvérisation de pesticides chimiques ont été signalés par (Dovlo, 2007). Cet auteur décrit des sensations de brûlure du visage et des mains, des maux de tête, le rhume, le vertige, la conjonctivite, la fatigue générale et des douleurs musculaires. La toxicité peut également être chronique lorsqu'ils sont régulièrement exposés aux pesticides. La plupart des matières actives des pesticides utilisés par les producteurs semblent cancérigènes pour l'homme (PAN-UK, 2005), ou bien peuvent occasionner des perturbations du fonctionnement des glandes endocrines. Plus de la moitié des travailleurs ont eu des maladies cutanées (dermatose, prurit cutané, intertrigo, pieds d'athlète, onyxis), cela peut s'expliquer par le fait que les exploitants et surtout les femmes travaillent les mains et pieds nus dans les parcelles en contact avec les eaux chargées de pesticides utilisés pour les traitements (Diallo 1993, Samuel 1994). 70% des enquêtés ont des troubles respiratoires très probablement dus à l'inhalation des produits lors des traitements (Baldi, 1998). Selon les Prestataires des structures de santé présentes dans les deux zones, il n'existe pas d'actions spécifiques dans le domaine de la santé au travail en général et au travail agricole en particulier.

V. CONCLUSION

Les exploitants exerçant dans les zones de l'Office du Niger au Mali, ont un âge qui varie entre 15 et 60 ans avec une prédominance des personnes dont l'âge est compris entre 15 et 24 ans. Leur niveau d'instruction est très faible. Les femmes sont beaucoup impliquées dans les chaînes des travaux rizières (55.8%). L'utilisation des engrais et des pesticides est une pratique courante dans les zones d'étude. Si leur utilisation contribue à une amélioration du rendement agricole et par conséquent permet la résolution de nombreux problèmes socio-économiques des exploitants, elle a des conséquences néfastes sur la santé de ces derniers. Les problèmes de santé ressentis par les exploitants sont des maladies neuro-musculaires, les troubles respiratoires et cutanés. Ils sont dus en partie au faible niveau d'instruction et au manque ou à l'insuffisance de connaissance des exploitants sur les conséquences sanitaires liées à l'utilisation des engrais et des pesticides. Aussi, l'inobservance du minimum de précautions, est-elle une des causes ?

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'Union Economique et Monétaire Ouest Africain (UEMOA) pour le soutien matériel apporté dans le cadre du Projet d'Appui à l'Enseignement Supérieur (PAES).

Nous remercions aussi les autorités exécutives de Niono, tout comme l'Office du Niger pour sa pleine collaboration.

REFERENCES

- [1] Améwuamé M., 2006. Analyse du niveau de perception des risques liés à l'utilisation des pesticides chimiques auprès des acteurs de la sous-filière maraîchère, cas du Togo. Mémoire d'Ingénieur Agronome, Université de Lomé, 79p.
- [2] Baldi, I., B. Mohamad-Brahim, P. Brochard, S. F. Dartigueuse et R. Salomon, (1998). Effets retardés des pesticides sur la santé. Etat des connaissances épidémiologiques. Rev. Epidem. Et santé publ. 46 : 135-137.
- [3] BGRM, (2008) Guide sur le comportement des polluants dans le sol et des nappes.
- [4] Dembélé S., 2013 : scénarios d'optimisation de l'utilisation des terres agricoles en milieu subsaharien: cas de l'Office du Niger au Mali, thèse de doctorat de sciences de l'environnement, Université du Québec à Montréal. PP 33 – 35.
- [5] Devine G, Furlong M., (2007). Insecticide use: Contexts and ecological consequences. *Agriculture and Human Values*, 24: 281-306.
- [6] Diallo R., (1993) : Rôle des femmes dans le fonctionnement d'une exploitation agricole. mémoire de fin d'étude présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de sciences appliquées. Institut Polytechnique Rurale de Katibougou pp 82.
- [7] Dovlo K. A., (2007). Quelques aspects socio-culturels et écologiques de l'utilisation des pesticides dans la production maraîchère de la zone portuaire de Lomé. Mémoire de D.E.A., Université de Lomé, 58p.
- [8] Emans H. J. B., Beek M. A., Linders J. B. H. J., (1992). Evaluation system for pesticides (ESPE) 1. Agricultural pesticides. National Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM), report n°679101004, Bilthoven, Pays-Bas.
- [9] Fear, N.T., E. Roman B., Panett B., (1998). Childhood cancer and paternal employment in agriculture: The role of pesticides. *British Journal of cancer*. 77 (5): 825.
- [10] Gagné G., (2004). Utilisation des pesticides en milieu agricole: Mémoire de l'Université du Québec à Rimouski, 6-10 p.
- [11] Giroux I., (2003). Contamination de l'eau souterraine par les pesticides et les nitrates dans les régions en culture de pommes de terre,

- Campagne d'échantillonnage de 1999- 2000- 2001, Ministère de l'Environnement, Gouvernement du Québec, 2003, 34 pages.
- [12] Maddy, K. T, Edimston S., Richmond D., (1990). Illness, injuries, and death from pesticides exposures in California 149-1988. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.*, Vol 114, P.56-123.
- [13] Mondédji A. D., Nyamador W. S., Amévoin K., Ketoh G. K., Glitho I. A., (2014) a. Efficacité d'extraits de feuilles de neem *Azadirachta indica* (Sapindale) sur *Plutella xylostella* (Lepidoptera : Plutellidae), *Hellula undalis* (Lepidoptera : Pyralidae) et *Lipaphis erysimi*
- [14] Mondédji AD, Nyamador WS, Amévoin K, Abbey GA, Ketoh GK& Glitho I. A., (2014)b. Analyse des caractéristiques sociodémographiques et identification des perceptions des distributeurs de pesticides et des consommateurs sur l'utilisation d'extraits botaniques dans la gestion des insectes ravageurs des cultures maraîchères au Sud du Togo. *Bulletin IFAN Ch. A. Diop, Sér. A*, 53 (2): 135-150.
- [15] Mondédji A. D, Nyamador W. S., Amévoin K, Adeoti R, Abbey G. A., Ketoh G. K., Glitho I. A., (2015). Analyse de quelques aspects du système de production légumière et perception des producteurs de l'utilisation d'extraits botaniques dans la gestion des insectes ravageurs des cultures maraîchères au Sud du Togo.. *J. Biol. Chem. Sci.*, **9** (1): 98-107.
- [16] Office du Niger DGEMRH, (2012) : Besoin en eau d'irrigation à l'ON, rapport.
- [17] Onil S., (2005) : Votre santé vous préoccupe ? Attention aux pesticides, colloque sur sericulture, Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec.
- [18] PAN-Africa, (2000). Pesticides Polluants Organiques Persistants en Afrique : problèmes, réglementations et alternatives. Compte rendu des travaux de l'atelier international. Bamako-Mali, 21-23.
- [19] PAN-UK, (2005). The list of lists: a catalogue of lists of pesticides identifying those associated with particular harmful health or environmental impacts. PAN-UK Ed., 19p.
- [20] Samuel, O., Lefevre L., (1994). Evaluation de l'exposition aux pesticides organophosphorés et carbamates des travailleurs de Rose Drumarond. Sainte Foy, Centre de toxicologie du Québec, 16 P, annexes.
- [21] Schiavon M, Perrin-Ganier C., Portal J. M., (1995). La pollution de l'eau par les produits phytosanitaires : état et origine. *Agronomie*, **15**, 157-170.
- [22] Thiam A., (2004). Avant-propos. Les pesticides au Burkina Faso. *Pesticide Action Network-Africa*. 72p.
- [23] Toé A. M., Ouédraogo V, Guissou IP, Héma O. S., (2002). Contribution à la toxicologie agroindustrielle au Burkina Faso. Etude des intoxications d'agriculteurs par des pesticides en zone cotonnière du Mouhoun. Résultats, analyse et propositions de prise en charge du problème. *Revue de Médecine du Travail*, tome XXIX, numéro unique, 2002, p. 59-64.
- [24] United State Environmental Protection Agency (USEPA), (1977). Waste disposal practices and their effects on groundwater. Report to Congress, USEPA, Washington, DC, USA.

Prévalence de *Salmonella* et de *Campylobacter* dans les carcasses de poulets de chair vendues dans le District de Bamako

SAMAKE^{1,3*} Fassé, CISSE¹ Y. Fatoumata, DIABATE¹ Daouda, SISSOKO² Aminata Thiam, BABANA¹ Amadou Hamadoun

¹ Laboratoire de recherche en microbiologie et biotechnologie microbienne (LaboREM-biotech), Faculté des Sciences et Techniques (FST), Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako

² Laboratoire Central Vétérinaire (LCV)

³ Institut des Sciences Appliquées, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako

* Email de correspondance: faziesamake@yahoo.fr

RESUME : Dans le cadre de l'évaluation de la qualité bactériologique de la viande de poulet de chair dans le district de Bamako, la prévalence des salmonelles et des campylobactéries dans les carcasses de poulets de chair vendues dans le District de Bamako a été déterminée.

Les salmonelles et les campylobactéries ont été recherchées dans 72 poulets de chair entiers frais, échantillonnés dans les six communes du district de Bamako.

Les résultats ont montré que 87,50% des poulets contenaient les salmonelles, et que *Campylobacter spp* était présent dans 66,66% dans les carcasses de poulets de chair vendus dans le District de Bamako. Le contrôle de *Salmonella* et *Campylobacter* dans les produits aviaires au Mali doit devenir une cible majeure de l'Agence Nationale de la Sécurité Sanitaire des Aliments (ANSSA).

Mots clés : Salmonelles, carcasses, poulets de chair, district, Bamako.

SUMMARY : The bacteriological quality of the chicken meat was evaluated by the determination of *Salmonella* spp and *Campylobacter* spp prevalence in the chicken carcasses sold in the District of Bamako.

Whole fresh table fowls were sampled from retail markets in the six communes of Bamako. In the district, 72 chicken carcasses from retail shops were examined for prevalence of *Salmonella* and *Campylobacter*.

Salmonella was detected from 87.50% of the carcasses analyzed, and *Campylobacter spp* in 66.66% in the table fowl carcasses sold in the District of Bamako. The control of *Salmonella* and *Campylobacter* in the poultry products in Mali must become a major target of the National Agency of the Medical Safety of Food (ANSSA).

Key words: Salmonellas, carcasses, fowls table, district, Bamako.

I. INTRODUCTION

Depuis plusieurs décennies, les toxi-infections d'origine alimentaire constituent la cause la plus fréquente de maladies intestinales chez l'homme dans la plupart des pays développés. Parmi les bactéries impliquées, *Salmonella* et *Campylobacter* sont à l'origine de plus de 90 % des cas signalés de toxi-infections alimentaires d'origine bactérienne dans le monde (Thorns, 2000), l'incidence des gastro-entérites causées par *Campylobacter* dépassant désormais les cas de salmonelloses dans certains cas (Koenraad *et al.*, 1997 ; Frost, 2001).

Dans la filière *Gallus gallus*, *Campylobacter* est présent à tous les stades de la chaîne avec une très forte prévalence de contamination : 70% à 100% des lots de poulets à leur arrivée à l'abattoir (Hue *et al.*, 2010) ; 72% à 77% de portage caecal individuel en élevage et à l'arrivée à l'abattoir ; 88% des carcasses et 76% des produits au niveau de la distribution.

Dans les pays développés, les investigations ont prouvé que des infections causées par les espèces de

campylobactérie peuvent être aussi importantes que celles causées par les espèces de *Salmonella*, tant en fréquence qu'en sévérité des symptômes (Cardinale *et al.*, 2003).

L'aliment contaminé est la source habituelle des infections humaines, et les produits de volaille sont considérés comme la principale voie d'infection pour l'homme (Séye, 2009). Les pertes économiques dues aux toxi-infections alimentaires se chiffrent en milliards (OMS, 2002, Alloui *et al.*, 2013).

Dans le domaine de la sécurité des aliments, *Campylobacter* est un danger émergent dont l'importance s'accroît au fil des années. *Campylobacter* et *Salmonella* sont actuellement considérées comme la première cause de maladies infectieuses d'origine alimentaire chez l'homme dans le monde (Friedman *et al.*, 2000), (OMS, 2000).

Ainsi, la réduction de la contamination des produits de volaille par les salmonelles et les campylobactéries réduirait significativement le risque des maladies d'origine aliments chez les consommateurs.

Au Mali, bien que la volaille et en particulier le poulet soit l'une des principales sources de protéine pour la population, peu de données sont disponibles sur les *Campylobacter* et les *Salmonella* dans la viande de poulet. Il apparaît, alors important de connaître la qualité microbiologique de la viande de poulet vendue dans le district de Bamako. Le présent article a pour objectif d'évaluer la prévalence des salmonelles et des campylobactéries dans les carcasses de poulets de chair vendues dans le district de Bamako.

II. MATERIEL ET METHODES

Echantillonnage

Les prélèvements ont été effectués au niveau des points de vente de viande de poulet dans les marchés des différentes communes du district de Bamako.

Dans chacune des communes, 12 poulets entiers ont été prélevés soit au total 72 échantillons. Chaque échantillon a été mis dans un sac plastique et est accompagné par une fiche indiquant la date, le lieu de prélèvement, le nom du vendeur.

Puis ils ont été déposés dans une glacière contenant de la glace et acheminés le plus rapidement possible au laboratoire pour les analyses microbiologiques.

Préparation de la suspension mère :

Dès l'arrivée des échantillons au laboratoire, dans les conditions stériles sous une hotte à flux laminaire, 25g ont été prélevés sur chaque échantillon dans les différentes parties du poulet à l'aide des couteaux, ciseaux stériles et broyés dans un sachet de prélèvement contenant 225ml d'eau peptonnée tamponnée à l'aide d'un stomacher.

La suspension mère obtenue, a été mise dans les conditions de revivification (30-45 min à 37°C) permettant de récupérer les bactéries stressées par les différentes manipulations. Une série de dilutions de 10^{-1} à 10^{-3} a été réalisée à partir de la suspension mère. Après répartition de 9 ml d'eau peptonnée tamponnée dans une série de tube, 1 ml de la suspension mère revivifiée a été transférée dans le tube n°1. Après homogénéisation de ce dernier, on obtient la dilution 10^{-1} . Dans le tube n°2, 1 ml du tube n°1 a été transféré à l'aide d'une micropipette (P1000) et on obtient la dilution 10^{-2} . L'opération a été répétée pour l'obtention de la dilution 10^{-3} .

RECHERCHE DES SALMONELLES SUR LES CARCASSES (Norme NFV08-052)

Pré-enrichissement : Chaque prise d'essai (25g) a été mise dans un sachet stomacher contenant 225 ml d'eau peptonnée tamponnée ; le tout incubé à 37°C pendant 24h.

Enrichissement: A l'aide de pipettes (P1000), 1 ml de la suspension après pré-enrichissement a été prélevé et ajouté à 10 ml de Rappaport de Vassiliadis. Ces tubes ont été incubés à 37°C pendant 48 h.

Isolement : Par la technique des stries d'épuisement, chaque culture d'enrichissement est ensemencée sur la gélose *Salmonella-Shigella* et les boîtes de Pétri ont été incubées à 37°C pendant 24 h.

Les colonies suspectées *Salmonella* spp ont été examinées à l'état frais et après coloration de GRAM.

RECHERCHE DE *CAMPYLOBACTER* SPP. SUR LES CARCASSES

Pour la détection qualitative de *Campylobacter* spp. sur les carcasses, on a utilisé la méthode ISO 10272-1: 2006 (« Méthode horizontale pour la recherche et le dénombrement de *Campylobacter* spp. Partie 1: Méthode de recherche »).

Pour cela, 25 g de peau du cou, du corps séparée du tissu grasseux et de la chair, ont été homogénéisés avec 225 ml d'eau peptonnée tamponnée (EPT) dans un Stomacher. 10 ml de cette suspension ont été ajoutés à 90 ml de milieu d'enrichissement (bouillon de Bolton). Le milieu d'enrichissement a été incubé pendant 6h à 37°C puis à 42°C pendant 48h en microaérobie.

Une gélose au charbon actif – céfopérazone-désoxycholate (gélose CCDA) a été inoculée à l'aide d'une anse. Le milieu nutritif sélectif a été incubé pendant 48h à 42°C en microaérobie puis lu par rapport à la présence de colonies suspectes de *Campylobacter*.

Les colonies suspectes ont été repiquées sur un milieu nutritif non sélectif puis confirmées par l'observation microscopique de frottis frais et après coloration de GRAM.

Les tests de Fisher, ANOVA et Tukey's pairwise comparaison ont été réalisés pour comparer les prévalences entre elles et entre les communes du district de Bamako.

III. RESULTATS

Recherche de *Salmonella* spp dans les carcasses de poulets de chair

Salmonella spp a été recherchée dans 72 carcasses de poulets de chair prélevées dans les différentes communes du district de Bamako.

Les résultats montrent que 63 soit 87,50% des carcasses de poulets de chair contenaient des salmonelles (Tableau 1). Seulement, 9 soit 12,50% des échantillons de carcasses de poulet de chair analysés ne contenaient pas de salmonelles. Il apparaît que la prévalence de *Salmonella* sp dans ces carcasses ne varie significativement d'une commune à une autre dans le district de Bamako ($F = 1,75$; $P = 0,550989$ à $\alpha = 5\%$).

Tableau 1 : Prévalence de *Salmonella* spp dans carcasses de poulets de chair par Commune.

Provenance	C I	C II	C III	C IV	C V	C VI	Total
Prévalence	8 /12	10 /12	12/12	11/12	12/12	8/12	63/72

Recherche de *Campylobacter* spp dans les carcasses de poulets de chair

Sur la gélose CCDA, les colonies de *Campylobacter* sont grisâtres, plates et humides présentant un reflet métallique et ayant une tendance à l'étalement. L'observation microscopique a montré que, à l'état frais, *Campylobacter* présente une mobilité en vrille. Avec la coloration de Gram, il se présente sous forme de bacilles à Gram négatif, incurvés ou spiralés.

Les résultats ont montré que *Campylobacter* spp était présent dans 48 soit 66,66% des poulets de chair vendus dans le District de Bamako. Par contre, 24 soit 33,34% des échantillons de poulet ne contenaient pas de *Campylobacter* spp. De même, la comparaison de la prévalence de *Campylobacter* spp et de *Salmonella* sp dans ces carcasses ne sont significativement différentes d'une commune à une autre dans le district de Bamako ($F = 4,125$; $P = 0,07282$ à $\alpha = 5\%$).

Tableau 2 : Prévalence de *Campylobacter* spp dans carcasses de poulets de chair par Commune.

Provenance	C I	C II	C III	C IV	C V	C VI	Total
Prévalence	9 /12	9 /12	10/12	7/12	7/12	6/12	48/72

IV. DISCUSSIONS

Les résultats montrent que la fréquence de contamination des carcasses de poulet de chair par les *Salmonella* et les *Campylobacter* dans le district de Bamako est assez élevée.

Nos résultats ont montré que 87,50 % et 66,66% des poulets de chair vendus à Bamako étaient respectivement positifs aux *Salmonella* et aux *Campylobacter*.

Cette prévalence anormalement élevée s'expliquerait par le fait qu'au Mali, le poulet est abattu au niveau des marchés ; dans de petites unités de transformation dans de mauvaises conditions d'hygiène ; conservé et commercialisé dans conditions où les ruptures de la chaîne de froid sont très fréquentes.

En effet, l'abattoir constitue l'un des points critiques majeurs de l'hygiène des viandes et l'abattage est considéré comme l'étape où les plus grandes opportunités de contamination existent (80 à 90% de la microflore des viandes parvenant aux consommateurs résultent de contaminations survenant à l'abattoir (Jouve, 1990, Dennaï *et al.*, 2001).

Ces résultats sont comparables à ceux d'autres études qui ont également trouvé une forte proportion des carcasses de poulet contaminée. Cardinale *et al.*, (2003), ont trouvé que la prévalence dans les poulets de chair des *Salmonella* 32% et de 56% pour les *Campylobacters*. Dembélé *et al.*, (2014), ont trouvé que 92% des carcasses de poulet de chair vendues dans le district de Bamako contenaient les salmonelles. De même, aux Etats Unis d'Amérique,

une étude menée à l'abattoir sur 800 échantillons, a montré que 77% des carcasses étaient contaminées au poste découpe automatique des pattes et que 58% sont contaminées au poste de pré-éviscération (Nisbet *et coll.*, 2001). De même, la majorité des pays développés signalent une incidence variant de moins 10 % à 100 %, même si les méthodes de prélèvement ne sont pas toujours comparables et varient de 25g de peau, à de la peau avec muscles et à l'eau de rinçage de toute la carcasse (Bell, 2002).

V. CONCLUSION

En conclusion, nous pouvons affirmer que les poulets de chair vendus dans le district de Bamako sont contaminés par des *Campylobacters* et par des *Salmonelles*.

Les salmonelles et les *Campylobacters* ont été détectées respectivement dans 87,50 % et 66,66% des poulets de chair vendus dans le district de Bamako. Il serait intéressant de déterminer les causes cette prévalence élevée. Au vue de ces résultats, le contrôle de *Campylobacter* dans la chaîne aviaire au Mali doit devenir une cible majeure des institutions en charge de la sécurité alimentaire.

REFERENCES

- [1] Alloui N., Guergueb N., Ayachi A., 2013. Relation entre les pratiques d'hygiène d'abattage et la Contamination bactérienne des carcasses de poulets dans la région de Biskra (Algérie.). Dixièmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, La Rochelle, du 26 au 28 mars 2013, P1.
- [2] Bell, C. et Kyriakides, A. 2002. *Salmonella* in: Foodborne Pathogens. Hazards, risk analysis and control. Woodhead Publishing Limited.: 307-334.
- [3] Cardinale E., Perrier Gros-Claude J.D., Tall F., Cissé M., Guèye E.F., Salvat G., 2003. Prevalence of *Salmonella* and *Campylobacter* in Retail Chicken Carcasses in Senegal. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 2003, 56 (1-2) : 13-16
- [4] Cardinale E., Perrier-Gros-Claude J.D., Tall F., Cissé M., Guyeye E.F., et Salvat G. 2003.- Prevalence of *Salmonella* and *Campylobacter* in retail chicken carcasses in Sénégal. *Revue Elev. Méd. Vet. Pays trop.*, 56 (1-2): 13-16.
- [5] Dennaï N., Kharrati B., El Yachoui M., 2001. Appréciation de la qualité microbiologique des carcasses de bovins fraîchement abattus. *Ann. Méd. Vét.*, 2001, 145, 270-274, P270.
- [6] European Food Safety Authority, 2010. Analysis of the baseline survey on the prevalence of *Campylobacter* in broiler batches and of *Campylobacter* and *Salmonella* on broiler carcasses, in the EU, 2008, Part A: *Campylobacter* and *Salmonella* prevalence estimates. *EFSA Journal*. 2010; 8(3):1503 [100 pp].

- [7] FAO /WHO Food Standards; 2004.CODEX Alimentarius. Code of practice on good animal feeding. CAC/RCP 54-2004.
- [8] FAO, 2013. Secteur Avicole Mali. Revues nationales de l'élevage de la division de la production et de la santé animale de la FAO. No. 4. Rome, P7.
- [9] FIFAM (Fédération des intervenants de la filière avicole du Mali), 2014. Filière avicole: un secteur enquête de soutien des autorités. 17 décembre 2014, P 2.
- [10] Friedman CR, Neimann J, Wegener HC, Tauxe RV., 2000. - Epidemiology of *C. jejuni* infections in the United States and other industrialized nations. In Nachamkin, Blaser M.J (eds). *Campylobacter*, 2nd edition ASM press, Washington DC, pp121-138.
- [11] Hue O, Allain V, Laisney MJ, Le Bouquin S, Lalande F, Petetin I, et al. *Campylobacter* contamination of caeca and carcasses at the slaughterhouse and correlation with *Salmonella* contamination. *Food Microbiol.* 2011;28(5):862-8.
- [12] Hue O, Le Bouquin S, Laisney MJ, Allain V, Lalande F, Petetin I, et al. Prevalence of and risk factors for *Campylobacter* spp. contamination of broiler chicken carcasses at the slaughterhouse. *Food Microbiol.* 2010; 27(8):992-9.
- [13] Jouve J. L. 1990. Microbiologie alimentaire et filière des viandes. *Viandes et Prod. Carnés*, 11; 6 ; bis 6 ter, 207-213.
- [14] Puterflam Julie, Bouvarel Isabelle, Ragot Ophélie, Drouet Marianne, 2005. Contamination des élevages de poulets de chair par *Campylobacter* : est-ce une fatalité ?. *Sciences et Techniques Avicoles* - N° 53.
- [15] Nisbet, D.J. et Ziprin, R.L. 2001. Salmonellosis in animals. In: *Food borne Disease Handbook*. Second edition. Vol. 1: Bacterial Pathogens. Edited by Hui, Y.H. et col. Marcel Dekker Inc., New York-Basel.:265-284.
- [16] OMS, 2000.- The Increasing Incidence of Human *Campylobacteriosis*. Report and proceedings of a WHO Consultation of Experts. Copenhagen, Denmark.
- [17] OMS. 2002. La stratégie mondiale de l'OMS pour la salubrité des aliments.
- [18] Amadou Samaké, Belieres Jean Francois, Corniaux Christian, (2008). Changements structurels des économies rurales dans la mondialisation. Programme Rural Struc Mali - Phase II. World Bank.
- [19] Santara I., Mas Aparisi A., Balié J., 2013. Analyse des incitations et pénalisations pour la viande au Mali. Série notes techniques, SPAAA, FAO, Rome, P1.
- [20] Séye K., 2009. Étude de la contamination croisée des carcasses de poulets par les manipulateurs : cuisines de la zone urbaine et périurbaine de Dakar. Mémoire de master II «qualité des aliments de l'homme», l'EISMV de Dakar, P 9.
- [21] Thorns, C.J. (2000) Zoonoses bactériennes d'origine alimentaire. *Rev. Sci. Thec. Of. Int. Epiz.*, 19, 226-239.

Evaluation de la charge parasitaire des légumes issus des sites de grande production maraichère du Mali

Sanata TRAORE^{1*}, Fassé SAMAKE¹, Amadou Hamadoun BABANA¹, Mamadou W. BAGAYOKO¹

¹Laboratoire de Recherche en Microbiologie et Biotechnologie Microbienne, FST, USTTB

*Email de correspondance: sanatatraore21@yahoo.fr

RESUME : Les légumes frais constituent une partie importante d'un régime alimentaire sain. Consommés crus, ils peuvent être des agents de transmission de parasites intestinaux. La fréquence et la variabilité des parasites sur 96 légumes produits dans les sites de grande production maraichère du Mali ont été évaluées. Ces sites sont : Bamako, Kati, Baguineda, Samako, Sikasso et Niono. L'évaluation de la charge parasitaire a été faite en utilisant la méthode d'Uga et al. (2009), qui consistait à rechercher les œufs et kystes de parasites dans 100g de laitue, de tomate et de concombre. Nous avons obtenu une contamination de 20,83% de l'ensemble des légumes par les parasites. 41,66% de laitue, 16,66% de tomate et 0% de concombre contenaient des parasites. Les parasites retrouvés sur les légumes étaient composés de 24,19% d'*Entamoeba coli* ; 24,19% de *Trichomonas intestinalis* ; 12,9% de *Giardia intestinalis* ; 11,29% de *Balantidium coli* ; 7,26% de *Entamoeba histolytica* ; 3,23% de *Douve* ; 1,61% de *Trichine*, 1,04% d'œuf de *Ankylostome duodenal* et 1,04% de *Schistosoma intercalatum*. La fréquence des parasites de laitue était de 83,33% pour Bamako; 83,33% pour Niono ; 50% pour Kati; 16,66% pour Baguineda, 16,66% pour Samanko et 0% pour Sikasso. La consommation des légumes contaminés par les parasites peut causer un risque sanitaire pour des consommateurs de ces produits.

Mots-clés : charge parasitaire, laitue, tomate, concombre, risque sanitaire.

I. INTRODUCTION

Les légumes crus sont une excellente source de vitamines, de fibres alimentaires et de minéraux ; leur consommation régulière est associée à un risque réduit de maladies cardio-vasculaires, d'accidents vasculaires cérébraux et certains cancers (Duynt et Pivonka, 2000).

Malgré l'importance et l'augmentation accrue de la consommation des légumes, leur production est confrontée à certaines contraintes notamment la faible disponibilité des terres cultivables dans la zone urbaine et périurbaine de Bamako et l'utilisation de l'eau de qualité douteuse destinée à l'arrosage de nos légumes ainsi que l'utilisation des fumures organiques non conventionnelles pour la production (Zallé, 1997). L'accumulation des parasites dans les sols et les eaux laissent craindre une contamination de la chaîne alimentaire. En Afrique de l'Ouest, de nombreuses études ont montré des niveaux de contamination élevés par des germes pathogènes contenus dans les eaux d'irrigation et des légumes à la fois à la ferme et au marché (Cissé, 1997; Olayemi, 1997; Armar-Klemsu et al. 1998; Niang, 1999; Faruqui et al., 2004; Amoah et al., 2005, 2006, 2014) qui dépassent de loin les normes de l'International Commission on Microbial Specification for Food (ICMSF, 1974). Cependant, dans les pays en voie de développement aux mauvaises conditions sanitaires et une plus grande gamme de facteurs de risques, de nombreuses épidémies d'infections alimentaires liées probablement aux légumes passent inaperçues (Beuchat, 1998). Les avantages de la réutilisation d'eaux usées sont principalement d'ordre économique pour les producteurs, car plusieurs études recensent une augmentation des rendements

(Faruqui et al., 2004 ; Niang, 1999) et des coûts de productions diminués en épargnant des fertilisants. Gaye et Niang (2010) ont retrouvé des larves de *Anguillule* (0,0015 par gramme), les œufs d'*Ascaris* (0,03 par gramme), les trophozoïtes de *Trichomonas intestinalis* (quantité élevée par gramme), et les œufs de *Ankylostome* (0,0064 par gramme) dans la laitue, la tomate et le concombre. La transmission des helminthes et autres pathogènes du tube digestif est liée à la consommation de légumes crus exposés aux eaux usées (Blumenthal et al., 2000). Une étude réalisée par Samaké et al. (2011) sur les légumes principalement la tomate et la laitue a montré un nombre assez élevé de contaminants microbiologiques et chimiques dans les eaux utilisées par les maraîchers et sur les produits maraîchers dans la zone périurbaine de Bamako. Tarchouna (2008) et Masto (2009) ont montré que l'irrigation de longue durée avec des eaux usées induit des changements des propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols, présentant un risque potentiel de contamination des légumes. Aucune étude n'a été faite au Mali pour déterminer la qualité parasitaire des légumes. Sanata et al., (2013) ont montré la limite (réduction de 90% de bactéries) des traitements proposés par les services techniques au Mali. Amoah et al. (2014) ont démontré la présence des bactéries pathogènes, des parasites, des métaux lourds et de résidus de pesticides dans les fruits et légumes. Chau et al. (2014) ont trouvé des œufs de *Fasciola* (83.33%), d'*Ascaris* (85.19%) and de *Trichuris* (64.81%) dans les légumes. Les œufs de *Clonorchis sinensis* ont été aussi détectés avec une fréquence de 16.67% ; les oocystes de protozoaire de *Cryptosporidium*, *Isospora* et *Cyclospora*. Abougrain et al. (2009) ont

obtenu dans 126 échantillons, 58% d'œuf d'helminthe de *Giardia spp.*. Les laitues consommées crues, arrosées avec des eaux usées non traitées peuvent entraîner la transmission d'infections bactériennes et parasitaires à nématodes (OMS, 1989). Des études plus approfondies visant à la détermination de la qualité parasitaire des légumes au Mali est nécessaire afin d'évaluer le risque sanitaire lié à leur consommation.

La présente étude a pour but de déterminer les contaminants parasitaires de la laitue, du concombre et de la tomate issus des sites de grande production maraîchère du Mali, en vue d'évaluer le risque sanitaire lié à leur consommation.

II. MATERIEL ET METHODES

Les échantillons de laitue, de tomate et de concombre ont été prélevés sur leurs sites de production, de différentes zones urbaines et périurbaines du Mali. Le prélèvement s'est fait de façon aléatoire. Six échantillons de laitue, de tomate et de concombre ont été prélevés par site, pour l'ensemble des sites retenus pour l'étude. Ces sites sont : Bamako, Baguineda, Kati, Niono, Samanko et Sikasso. Ces sites ont été choisis en fonction de leur accessibilité et la présence des maraîchers en activité. trente pieds de laitue, trente tomates et dix concombres sont prélevés dans différentes parcelles, mis dans un sachet en plastique stérile. Les différents échantillons prélevés et soigneusement étiquetés ont été placés dans une glacière contenant de la glace et ensuite transportés au laboratoire. Pour les différentes analyses au laboratoire, chaque lot d'échantillon a été soigneusement découpé à l'aide des ciseaux stériles et mélangé pour avoir un échantillon composite.

L'analyse parasitaire a été faite selon la méthode d'Uga et al. (2009). L'analyse parasitaire des échantillons de laitue, du concombre et de la tomate a consisté à rechercher et à dénombrer les œufs et kystes de parasites. Chaque échantillon de légume frais a été lavé (100 g) dans des sacs en plastique stériles avec une solution saline physiologique (0,85% de NaCl). L'eau de lavage a été laissé pendant 10 h en sédimentation, puis la couche supérieure a été écartée et l'eau de lavage restant a été centrifugée à 2164 g pendant 15 min. Le surnageant a été éliminé, le résidu soigneusement recueilli et examiné dans le lugol (pour chaque échantillon) par microscopie optique. Les kystes et œufs de parasites ont été trouvés au microscope optique.

III. RESULTATS

Charge parasitaire par site et par spéculation

La charge parasitaire de la laitue, de la tomate et du concombre ont été déterminées dans les sites de grande production maraîchère du Mali.

Nous avons constaté une contamination des légumes par des parasites à Bamako, Baguineda, Kati, Samanko et Niono. Aucun parasite n'a été retrouvé

dans les légumes à Sikasso. Nous avons remarqué une contamination de 20,83% de l'ensemble des échantillons de légumes. Parmi les spéculations, la laitue apparaît la plus contaminée avec un taux de 41,66%, ensuite la tomate (16,66%) et enfin le concombre (0%). Parmi les sites, les laitues de Bamako et de Niono ont la concentration la plus élevée avec un taux de 83,33% (Figure 1).

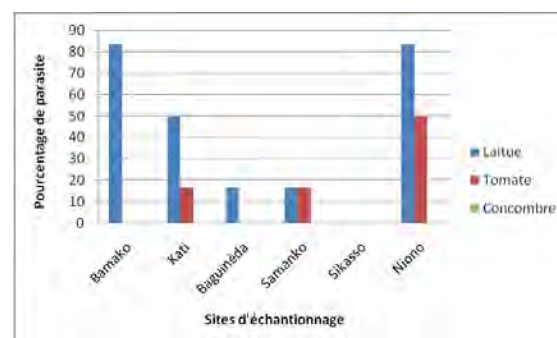


Figure 1 : Fréquence de parasite par site en fonction des spéculations

Type de parasite en fonction des sites et des spéculations

Nous constatons une contamination de la laitue et de la tomate par des parasites à Bamako, Baguineda, Kati, Samanko et Niono. Aucun parasite n'a été retrouvé sur les concombres sur l'ensemble des sites. Parmi les parasites, *Entamoeba Coli* et *Trichomonas intestinalis* ont les taux les plus élevés avec 24,19% chacun. Ceux-ci sont suivis par *Giardia intestinalis* (12,9%), *Balantidium coli* (11,29%), *Entamoeba histolitica* (7,26%), la Douve (3,23%), la Trichine (1,61%), *Ankylostoma duodenal* (0,81%) et *Schistosoma intercalatum* (0,81%). Ceux-ci sont illustrés dans la figure 2.

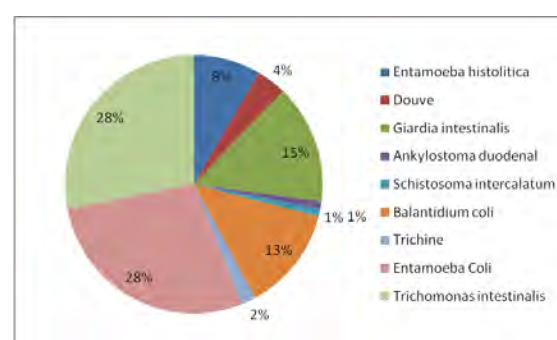


Figure 2 : Fréquence de parasite dans les légumes

IV. DISCUSSION

La consommation de légumes crus joue un rôle important dans la transmission des contaminations parasitaires (Anuar et al., 1977). Les légumes sont une voie importante de transmission des parasites intestinaux et ont été montré comme une source importante d'épidémies d'origine alimentaire dans

les pays en voie de développement (Pires et al., 2012).

Cette contamination a eu lieu avant la récolte, par le fumier contaminé, le compost de fumier, les boues d'épuration, l'eau d'irrigation ou l'eau de ruissellement provenant des exploitations d'élevage ou directement à partir d'animaux sauvages et domestiques.

Il y a une concentration anormalement élevée des parasites dans les légumes issus des sites de grande production maraîchère du Mali. L'analyse de ces légumes nous a montré la présence de 24,19% d'*Entamoeba Coli*, 24,19% de *Trichomonas intestinalis*, 12,9% de *Giardia intestinalis*, 11,29% de *Balantidium coli*, 7,26% d'*Entamoeba histolitica*, 3,23% de Douve, 1,61% de *Trichine*. Les œufs d'*Ankylostome duodenal* (1,04%) et de *Schistosoma intercalatum* (1,04%) étaient relativement faibles.

De trois types de légumes examinés, la laitue est le légume le plus infecté par les parasites avec un taux de 41,66%, suivie par la tomate (16,66%) et le concombre (0%). Nos résultats concordent avec ceux de Gaye et Niang (2010), qui ont retrouvé des larves d'*Anguillule* (0,0015 par gramme), les œufs d'*Ascaris* (0,03 par gramme), les trophozoïtes de *Trichomonas intestinalis* (beaucoup par gramme), et les œufs d'ankylostome (0,0064 par gramme) dans la laitue, la tomate et le concombre.

Chau et al. (2014) qui ont trouvé des parasites différents des nôtres. Ce sont entre autres des œufs de *Fasciola* (83,33%), d'*Ascaris* (85,19%) et de *Trichuris* (64,81%), les œufs de *Clonorchis sinensis* (16,67%); les oocystes de protozoaire de *Cryptosporidium*, d'*Isospora* et de *Cyclospora* dans les légumes. Aussi, Amoah et al. (2014) ont eu des œufs d'*Ascaris lumbricoides*, d'*Hymenolepis diminuta*, de *Trichuris trichiura*, de *Fasciola hepatica* et des larves de *Strongyloides* dans les échantillons de laitue. Leurs résultats et les nôtres sont similaires du point de vue présence des parasites. Mais quant à la spécificité des parasites, ils sont différents.

Nous avons obtenu une contamination de 20,83% des légumes par les parasites sur 96 échantillons examinés. Ceux-ci sont en accord avec ceux d'Abougrain et al. (2009) qui ont obtenu que dans 126 échantillons, 58% contenaient des œufs d'helminthe et des kystes des *Giardia spp*. Il y a eu un maximum de parasites dans les laitues de Bamako (83,33%) et de Niono (83,33%) par rapport aux autres sites. Ce pourcentage à Bamako s'explique par le fait de la réduction de plus en plus des terres cultivables à Bamako et de l'accroissement de la demande des légumes, les maraîchers utilisent les eaux de mauvaise qualité et des compostes non conventionnels pour leur production (Zallé et al., 1997).

Plusieurs facteurs ont contribué à augmenter la fréquence et des flambées de nombreuses maladies d'origine alimentaire associées aux fruits et légumes

crus. Une forte incidence des parasites intestinaux humains a été trouvée dans les communautés qui consomment des légumes crus, en particulier lorsque les légumes sont cultivés sur des terres agricoles fertilisées avec des eaux usées non traitées humaine et animale (Simoes et al., 2001). La situation de la contamination des légumes par des parasites dans d'autres pays ont également été signalés, par exemple en Iran (Gharavi et al., 2002), le Nigeria (Idahosa et al., 2011), Semnan (Nazemi et al., 2012), l'Égypte (Said, 2012), le Ghana (Amoah et al., 2007 ; 2014) et les Philippines (Sia et al., 2012). Les raisons de contamination parasitaire sur les légumes ont été probablement contaminés par les engrais (Uga et al., 2009; Kłapeć et al., 2012), la source des eaux usées (Vuong et al., 2007, Keraita et al., 2014), le sol (Kłapeć et al., 2012).

Les différences observées dans les taux des différents parasites intestinaux pathogènes de légumes frais déclarés dans le présent ouvrage et ceux rapportés par d'autres auteurs sont attendues. Plusieurs facteurs peuvent contribuer à de telles différences. Ceux-ci peuvent inclure, entre autres l'utilisation de fournitures non traitées, d'eaux usées et de l'eau contaminée par les eaux usées, le fumier comme engrais pour la production de cultures, l'irrigation et diverses pratiques agronomiques, les méthodes utilisées pour la détection des parasites intestinaux, le type et le nombre d'échantillons examinés (Amoah et al., 2005).

V. CONCLUSION

Les légumes cultivés au Mali contiennent une concentration non négligeable de parasites avec une proportion de 20,83%. Les spéculations étaient contaminées par les parasites avec 41,66% de laitue, 16,66% de tomate et 0% de concombre. Parmi les parasites, nous avons eu 24,19% d'*Entamoeba coli*; 24,19% de *Trichomonas intestinalis*; 12,9% de *Giardia intestinalis*; 11,29% de *Balantidium coli*; 7,26% d'*Entamoeba histolitica*; 3,23% de Douve; 1,61% de *Trichine*; 1,04% d'œufs d'*Ankylostome duodenal* et 1,04% de *Schistosoma intercalatum*.

La concentration de parasite est plus élevée à Bamako et à Niono par rapport aux autres sites.

La contamination des légumes frais produits au Mali par des parasites intestinaux pathogènes peut constituer un risque pour la santé de la population. Les autorités sanitaires et environnementales locales devraient éduquer le public sur les dangers pour la santé de légumes frais et l'importance de les laver et les désinfecter avant consommation. En outre, un traitement adéquat des eaux usées et l'interdiction de l'utilisation des eaux usées non traitées pour l'irrigation des plantes destinées à la consommation humaine, entre autres, devraient être mis en œuvre. Bref, il est donc nécessaire d'améliorer les conditions sanitaires de ces types d'aliments.

REFERENCES

- [1] Abougrain A. K., Nahaisi M.H., Madi N.S., Saied M.M., Ghenghesh K.S. (2009). Parasitological contamination in salad vegetables in Tripoli-Libya. Contents lists available at ScienceDirect. journal homepage: www.elsevier.com/locate/foodcont.
- [2] Amoah P. (2004). Irrigated urban vegetable production in Ghana: Sources of pathogen contamination and risk elimination. P.54:49-61. pp.11.
- [3] Amoah P., Drechsel P. & Abaidoo RC. (2005). Irrigated urban vegetable production in Ghana: sources of pathogen contamination and health risk elimination. *Irrigation and Drainage* 54: 49–61.
- [4] Amoah P., Drechsel P., Abaidoo RC. & Ntow WJ. (2006). Pesticide and pathogen contamination of vegetables in Ghana's urban markets. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 50, 1–6.
- [5] Amoah P., Drechsel P., Abaidoo RC., and 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, S40-S50.
- [6] Keraita B., Silverman A., Amoah P. and Senorpe A-H (2014). Quality of Irrigation Water Used for Urban Vegetable Production. Characteristics, Benefits and Risk Mitigation. Second edition 249:89-103, pp15.
- [7] Anuar A.K, Ramachandran CP (1977). A study on the prevalence of soil transmitted helminthes among lettuce leaves sold in local markets in Penang, Malaysia. *Med J Malaysia* 31: 262-265.
- [8] Beuchat L.R. (1998). Surface Decontamination of Fruits and Vegetables Eaten Raw: A Review. Food Safety Issues. WHO/FSF/FOS/98.2. Food Safety Unit. WHO. pp.42.
- [9] Blumenthal U.J., Peasey A., Ruiz-Palacios G. & Mara DD. (2000). Guidelines for Wastewater Reuse in Agriculture and Aquaculture: Recommended Revisions Based on New Research Evidence (Well Study Task No: 68 Part 1). Water and Environmental Health at London and Loughborough. London School of Hygiene and Tropical Medicine. London. pp. 13.
- [10] Cisse G. (1997). Impact sanitaire de l'utilisation d'eaux polluées en agriculture urbaine. Le cas du maraîchage à Ouagadougou. Thèse de doctorat. EPFL. Lausanne. pp. 267.
- [11] Faruqui, N. I., S. Niang, et al. (2004). Untreated Wastewater Use in Market Gardens: A Case Study of Dakar, Senegal. *Wastewater Use in Irrigated agriculture. Confronting the livelihood and environmental realities*. R.-S. L. CABI Publishing: 127-134.
- [12] Faruqui N.I., Niang S. & Redwood M. (2004). Untreated wastewater use in market gardens; a case study of Dakar, Senegal. In: *Wastewater Use in Irrigated Agriculture: Confronting the Livelihood and Environmental Realities* (eds CScott, NIFaruqui & LRaschid) IWMI-IDRC-CABI, Wallingford. pp. 113–125.
- [13] Gharavi, M.J., Jahani, M.R., Rokni, M.B. (2002). Parasitic contamination of vegetables from farms and markets in Tehran, *Iranian Journal of Public Health*, 31. 83-86.
- [14] Idahosa, O.T. (2011). Parasitic contamination of fresh vegetables sold in Jos markets. *Global Journal of Medical Research*. 11(1). pp 20-25.
- [15] International commission on Microbiological Specifications for Food (ICMSF) (1974). Microorganisms in foods 1. Sampling for microbiological analysis: Principles and specific Applications. The. University of Toronto Press. Toronto. pp. 504.
- [16] Amoah P., Lente I., Senorpe A-H and Robert Abaidoo C. (2014). Quality of Vegetables in Ghanaian Urban Farms and Markets. *Irrigated Urban Vegetable Production in Ghana. Characteristics, Benefits and Risk Mitigation*. Second edition 249:89-103. pp15.
- [17] Kłapeć T., Borecka A.(2012). Contamination of vegetables. fruits and soil with geohelminths eggs con organic farm in Poland", *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*. 19 (3). 421-425.
- [18] Gaye M. et Niang S. (2010). Manuel des bonnes pratiques de l'utilisation des eaux usées dans l'agriculture urbaine. FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture) à travers le projet GCP/SEN/061/SPA. ENDA RUP (Relais pour le Développement Urbain Populaire), Dakar, 2010. Email : rup@enda.sn - Site web : www.enda.sn/rup
- [19] Nazemi A., Raei, M., Amiri M., Chaman R. (2012). Parasitic contamination of raw vegetables in Shahroud, Semnan, Zahedan, *Journal of Research in Medical Sciences*. 14(8). 84-86.
- [20] Niang S. (1999). Utilisation des eaux usées brutes dans l'agriculture urbaine au Sénégal: bilan et perspectives. In: *Agriculture Urbaine en Afrique de l'Ouest* (ed OSmith) IDRC Books. Ottawa. pp. 101–115.
- [21] Olayemi A.B. (1997). Microbiological hazards associated with agricultural utilization of urban

- polluted river water. *International Journal of Environmental Health Research* 7. 49–154.
- [22] Organisation Mondiale de la Santé (OMS). (2005). *Environnement et santé*. IFMT-MS-Santé. Publ.2006. Simoes, M., Pisani, B., Margues, EGL, Prandi, MAG., Martini, MH and Chiarini, PFT. Hygienic-sanitary condition of vegetables and irrigation water from kitchen gardens in the municipality of Campinas, SP. *Brazilian Journal of Microbiology*. 32: 331- 333.
- [23] Said S., D.E. (2012). Detection of parasites in commonly consumed raw vegetables. *Alexandria Journal of Medicine*. 48. 345-352.
- [24] Sia Su, G.L., Mariano, C.M.R., Matti, N.S.A., Ramos, G.B. (2012). Assessing parasitic infestation of vegetables in selected market in Metro Manila, Philippines. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*. pp 51-54.
- [25] Traoré S., Samaké F., Babana A.H., Traoré D., Y. Sanogo, Maiga K. (2013). Evaluation of the effectiveness of bleach on microbial population of lettuce. *Scientific Journal of Microbiology* 2 (9) 166-173. ISSN 2322-2948. doi: 10.14196 / sjm.v2i9.950. www.Sjournals.com.
- [26] Uga, S., Hoa, N.T.V., Noda, S., Moji, K., Cong, L., Aoki, Y., Rai, S.K., Fujimaki, Y. (2009). Parasite egg contamination of vegetables from a suburban market in Hanoi, Vietnam. *Nepal Medical College Journal*, 11(2). 75-78.
- [27] Duyn V. MA, Pivonka E. (2000). Overview of the health benefits of fruit and vegetable consumption for the dietetics professional: selected literature. *J Am Diet Assoc*. 100(12):1511–21.
- [28] Vuong, T.A., Nguyen, T.T., Klank, L.T., Phung, D.C., Dalsgaard, A. (2007). Faecal and protozoan parasite contamination of water spinach (*Ipomoea aquatica*) cultivated in urban wastewater in Phnom Penh, Cambodia. *Tropical Medicine & International Health*. 12(Suppl 2). 73-81.
- [29] Zallé D. (1997). Le maraîchage intra-urbain à Bamako. Thèse doctorat. Isfra, univ. du Mali. Bamako. pp318.

Evaluation de l'activité antioxydante de *Anogeissus leiocarpus*. (DC.) Guill et Perr.

Bintou DEMBÉLÉ^{1*}, Babakar DIOP¹, Nah TRAORÉ¹, Aimé A. SOMBORO¹, Drissa DIALLO², Lassine SIDIBÉ¹ et Amadou DICKO³

¹Laboratoire de Chimie organique et Substances naturelles, Faculté des sciences et des techniques (FST) de Bamako

² Département de médecine traditionnelle

³Laboratoire de Chimie et de l'environnement de l'université de Lorraine Metz

RESUME : Cette étude évalue les teneurs en composés polyphénoliques totaux de *Anogeissus (A) leiocarpus* (Dc.) et détermine leur potentiel antioxydant. Les analyses quantitatives et qualitatives des composés phénoliques ont été effectuées par RP-HPLC et UV-visible. Deux tests ont été utilisés pour déterminer l'activité antioxydante : le test au DPPH et le test à l'ABTS. Les teneurs en polyphénols totaux varient de 301 à 486 mg d'acide gallique équivalent (mgEAG) par 100g de matière sèche (MS). Les teneurs en flavonoïdes totaux et tanins totaux varient respectivement de 3196 à 4176 mg par 100g de (MS) et de 78 à 149 mg par 100g de (MS) et sont exprimés en catéchine (mgECt). Les concentrations en anthocyanines totaux sont exprimés en cyanidine 3-glucoside (mgECg) varient de 19 à 756 mg par 100g de (MS). Le potentiel antioxydant varie de 71 à 234 mg par 100g au test de l'ABTS et de 113 à 268 mg par 100g au test de DPPH, et est exprimé en vitamine C (mgEVC).

Mots clés : potentiel antioxydant, composés polyphénoliques, *Anogeissus leiocarpus* (Dc.).

I. INTRODUCTION

Plusieurs études montrent que les plantes riches en antioxydant pourraient jouer le rôle de protection dans la santé et contre les maladies [1]. La majorité des groupes phytochimiques y compris les polyphénols et les vitamines C et E pourraient contribuer à l'activité antioxydante des plantes [2]. Les composés phénoliques sont des dérivés de l'acide benzoïque et de l'acide cinnamique, possèdent des effets antioxydatif et anticarcinogénique. Les composés phénoliques tels que les flavonoïdes, jouent un rôle important dans le mécanisme de défense de la plante [2,3]. Les flavonoïdes ont été longtemps accrédités pour leur activité anti-inflammatoire, antiallergique, antiviral et antiproliférative [2,4]. Plusieurs rapports indiquent qu'il pourrait avoir une relation entre le potentiel antioxydant des plantes médicinales et les concentrations des composés phénoliques incluant les flavonoïdes, les anthocyanes et les tanins [5,6]. Les antioxydants retardent la formation des toxiques produits par l'oxydation, aident à maintenir la qualité nutritionnelle et augmentent leur durée de conservation [7].

Les objectifs de cette recherche sont : (i) d'évaluer les teneurs en polyphénols totaux, flavonoïdes totaux, tanins totaux et anthocyanes totaux des extraits de *A. leiocarpus* (feuilles, écorces de troncs et de racines), et (ii) d'évaluer leur potentiel antioxydant.

performance (HPLC) est constituée d'un détecteur placé à la sortie de la colonne (C18 ODS 5µm 150mm X 4,6mm) et couplé à un enregistreur permettant d'obtenir un chromatogramme. Une pompe munie d'un système de gradient permet d'effectuer une programmation de la nature du solvant.

2.1.2 Produits chimiques

Folin-Ciocalteu, l'acide gallique, l'acide protocatéchique l'acide chlorogénique, l'acide caféique, la lawsone, la rutine, la quercétine, le kaempferol. Les radicaux libres tels que l'ABTS [sel d'ammonium de l'acide 2, 2'-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6- sulfonique)] et le DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl). Ces produits ont été fournis par les sociétés SIGMA-Aldrich (France) et Across organics (Belgique).

2.1.3 Matière végétale

La collecte des échantillons (feuilles, écorces de troncs et de racines) de *A. leiocarpus*, a été réalisée à Kayes (Mali). La plante a été identifiée au Département de Médecine Traditionnelle (DMT) sous le numéro 0376. Les échantillons ont été séchés séparément à l'ombre et à température ambiante du laboratoire des Substances Naturelles de la FST. Après séchage, les échantillons sont pilés et tamisés jusqu'à l'obtention d'une poudre fine à l'aide d'un mortier traditionnel.

II. MATERIELS ET METHODES

2.1. Matériels

2.1.1 Appareillage

Un spectrophotomètre UV-visible UV CARY SCAN 50. Une chromatographie liquide haute

2.2 Méthodes

2.2.1 Préparation des extraits

A 5g de poudre végétale sont ajoutés 2 fois 20ml d'une solution hydrométhanolique 70/30 et 50/50

(V/V) respectivement pour la spectroscopie UV-visible et la HPLC. Les mélanges sont mis en agitation pendant 6 heures, puis filtrés à travers une membrane millipore de 0,45µm. Les filtrats recueillis sont centrifugés à l'aide d'une centrifugeuse de 1532×g pendant 20mn. Les filtrats obtenus sont gardés au frais (+4°C) dans des petits flacons en attente d'être analysés.

2.2.2 Dosage des composés phénoliques

La teneur en composés polyphénoliques totaux (PPT) a été déterminée par la méthode de Kim et al, 2003 [8]. Les flavonoïdes totaux (FVT) sont évalués suivant la méthode de Zhishen et al. 1999 [9]. Les composés anthocyanines totaux (ATT) ont été évalués par la méthode d'Abubakar et al. en 2009[10] et Lako et al. en 2007 [11]. La teneur en tanins totaux (TT) a été déterminée par la méthode de Villereal en 2007 [12].

2.2.3 Analyse à l'HPLC

L'analyse HPLC a été réalisée selon le procédé d'Arnao et al. 2001 ; Kim et al. 2002 [13,14], en utilisant un gradient d'élution constitué de trois phases; solvant A : le phosphate d'ammonium (NH₄H₂PO₄), solvant B : l'acétonitrile /solvant A, et solvant C : l'acide ortho phosphorique (H₃PO₄).

Tableau 1 : profil du gradient d'analyse HPLC des composés phénoliques.

T (mn)	A%	B%	C%
0 - 4	100	0	0
4 - 10	92	8	0
10 - 22,5	0	14	86
22,5 - 27,5	0	16	84
27,5 - 50	0	25	75
50 - 55	0	80	20
55 - 60	100	0	0

2.2.4 Activité antioxydante

Deux méthodes ont été utilisées pour l'évaluation de l'activité antioxydante. Le test au radical DPPH ou 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl est largement utilisée par Marwah et al. 2007[15] ; kim et al. 2003[8], et le test au radical de l'ABTS [sel d'ammonium de l'acide 2,2'-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonique)], utilisée par Djeridane et al. 2006 [5].

III. RESULTATS

3.1Teneurs en composés polyphénoliques totaux

Les composés polyphénoliques totaux (polyphénols, flavonoïdes, tanins et anthocyanines) ont été quantifiés en utilisant un spectrophotomètre UV-visible. Les résultats de l'analyse se trouvent sur la figure 1. Les différents extraits sont majoritairement composés de flavonoïdes totaux.

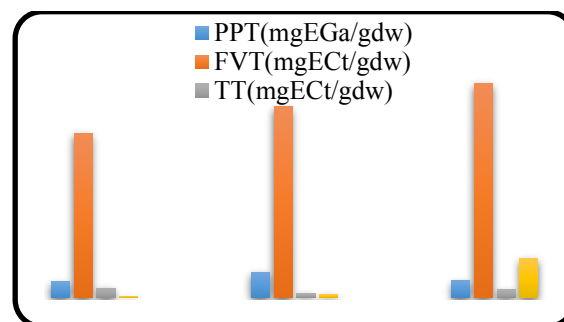


Figure1 : Composition quantitative des composés phénoliques de *A. leiocarpus*

3.2 Analyse de l'HPLC

Les analyses quantitative et qualitative des composés polyphénoliques ont été effectuées par HPLC. Le temps de rétention des étalons et les concentrations des échantillons correspondant sont collectés dans le tableau 1.

Tableau 2 : Composés phénoliques identifiés dans les extraits de *A. leiocarpus*.

Noms des Composés	Rt (mn)	F (µg/mL)	Et (µg/mL)	Er (µg/mL)
A. gallique	09,65	Nd	Nd	Nd
A.Protocatéchique	11,85	Nd	55,27±01,1	86,22±07,81
A. Chlorogénique	16,72	3225,7±90,50	Nd	Nd
Acide caféique	19,55	114,15±04,66	Nd	Nd
Lawson	25,98	Nd	Nd	Nd
A.p-coumarique	33,90	Nd	Nd	Nd
Rutine	35,50	29,08±03,53	Nd	Nd
Quercétine	39,82	Nd	Nd	Nd
Apigénine	41,40	Nd	Nd	Nd
kaempferol	42,52	Nd	Nd	Nd

Nd : non déterminé

3.3 L'activité antioxydante

Les résultats de l'activité antioxydante ont été reportés dans le tableau 3. La figure 2 montre la relation entre l'activité antioxydante et les composés polyphénoliques totaux (polyphénols, flavonoïdes, tanins et anthocyanes) dans nos différents extraits de *A. leiocarpus*.

Tableau 3: Evaluation de l'activité antioxydante dans les extraits de *A. leiocarpus*.

Parties utilisés	Test à l'ABTS (mgVCE)	Test au DPPH (mgVCE)
feuilles	2,48±0,01	2,68±0,03
E. troncs	2,33±0,02	2,44±0,02
E. racines	0,71±0,05	1,13±0,001

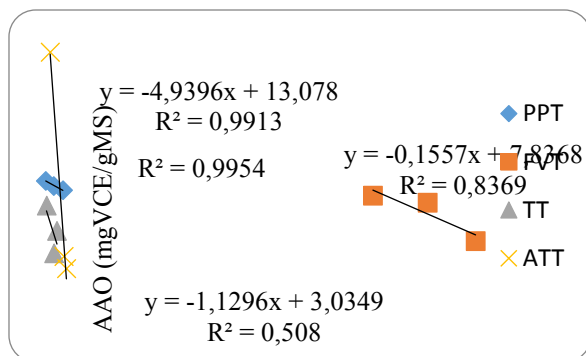


Figure 2 : Relation entre l'activité antioxydante et composés polyphénoliques totaux (polyphénols, flavonoïdes, tanins et anthocyanes).

IV. DISCUSSIONS

La teneur en polyphénols totaux dans l'extrait des écorces de troncs est de 486mgEGa/100g (MS), plus grande que dans les extraits de feuilles et écorces de racines de *A. leiocarpus*, qui enregistrent presque les mêmes teneurs en polyphénols totaux (figure 1). Les flavonoïdes sont très présents dans les différents extraits. Cependant l'extrait des écorces de racines a une concentration plus élevée en flavonoïdes totaux avec 4176mgECt/100g(MS). Les feuilles contiennent en flavonoïdes totaux 3196mgECt /100g (MS), comparable aux résultats de Koné en 2009 [16], qui renfermeraient 3890 mgECt/100g (MS). Les extraits de feuilles et d'écorces de racines ont presque des teneurs similaires en tanins totaux respectivement 178 et 149(mgECt/100g MS). Nos teneurs en tanins totaux dans les feuilles est nettement supérieures aux résultats de Atiku et al. en 2016 [17] avec 5,714 mgECt/100g (MS). L'extrait des écorces de racines contient une teneur de 756mgECg/100g(MS) en anthocyanes totaux, les plus basses concentrations sont enregistrés au niveau de l'extrait de feuilles et écorces de troncs.

L'analyse HPLC révèle la présence de trois composés phénoliques dans les feuilles de *A. leiocarpus* : l'acide chlorogénique 3225,67 μ g.ml⁻¹, l'acide caféique 114,1567 μ g.ml⁻¹ et la rutine 29,08 μ g.ml⁻¹. Les extraits des écorces de troncs et de racines contiennent uniquement de l'acide protocatéchique avec des concentrations respectives de 55,27 et 86,22 μ g.ml⁻¹(tableau 1).

L'extrait de feuilles affiche la plus grande valeur de l'activité antioxydante au radical DPPH (tableau 3), ceci est en accord avec les résultats de l'analyse HPLC qui montre la présence de trois composés. Koné en 2009 [16] aurait quantifié par HPLC l'acide chlorogénique et l'acide caféique dans l'extrait de feuilles de la plante, et a trouvé une forte teneur pour l'activité antioxydante (271,87mgVCE/g). L'activité antioxydante de l'extrait d'écorce de troncs vaut 0,013mmol VCE/g (MS) avec le test au DPPH. Govindarajan et collaborateurs en 2004[18]

auraient trouvé que l'activité antioxydante de l'écorce de troncs de *Anogeissus latifolia* est de 149nmol VCE/g (MS), l'acide gallique (0,95%) serait responsable de l'activité observée. L'extrait d'écorce de racine affiche une activité antioxydante faible dans les deux tests. Cela est confirmé par la présence de l'acide protocatéchique en faible quantité.

De nombreuses études indiquent une relation linéaire entre composés phénoliques totaux et l'activité antioxydante (kim et al. 2003 ; Djeridane et al. 2006 ; Van et al. 2000) [5, 8,19]. Dans cette étude, nous avons trouvé que les composés polyphénoliques totaux (polyphénols, flavonoïdes et anthocyanes), contribuent majoritairement à l'activité antioxydante de *A. leiocarpus* puisque leur coefficients de corrélation sont respectivement $R^2 = 0,9954$; $0,8369$; $0,9913$. Les tanins contribuent peu à l'activité antioxydante avec un coefficient de $0,5080$ (figure 2). Malgré la faible teneur de tanins dans les différents extraits de la plante, Hoste et al. en 2006 [20] affirment que cela pourrait être responsable de la suppression des parasites internes chez les ruminants. L'existence d'une bonne corrélation linéaire entre les polyphénols totaux, flavonoïdes totaux et anthocyanes totaux, et l'activité antioxydante de nos différents extraits suggéreraient que les composés polyphénoliques ayant des activités hepatoprotectrices, anti-inflammatoires et antifongiques seraient responsables de l'activité antioxydante (Mouradov and Spangenberg 2014 ; Salau et al. 2015; Hodouto, 1991 ; Tona, 1994) [21,22,23,24].

V. CONCLUSION

Une étude bibliographique réalisée sur la plante a montré que l'on ne dispose pas d'assez d'informations de sa chimie. Pour un apport à cette chimie, notre étude s'est focalisée sur les analyses quantitative et qualitative, et l'évaluation du potentiel antioxydant de la plante.

Cependant on a noté l'absence d'une bonne corrélation entre polyphénols totaux et flavonoïdes totaux.

Une bonne corrélation a été établie entre activité antioxydante et teneur en polyphénols totaux, flavonoïdes totaux, anthocyanes totaux. Cela prouverait que l'activité observée est due aux polyphénols totaux flavonoïdes totaux et anthocyanes totaux. Une telle corrélation n'a pas été établie entre activité antioxydante et teneur en tanins totaux. Suite à ces informations, *A. leiocarpus* pourrait être considérée comme une source d'antioxydants naturels pour des fins médicinales.

REFERENCES

- [1] A. Millner, "Functional foods and health promotion". *J Nutr.*; **Vol. 7**, pp. 129-1395, 1999.
- [2] AR. Ndhala, A. Kasiyamhuru, C. Mupure, K.

- Chitindingu, MA. Benhura, M. Muchuweti. "Phenolic composition of *Flacourtia indica*, *Opuntia megacantha* and *sclerocarya birrea*." *Food Chem*; **Vol. 7**. pp. 82-103, 2007.
- [3] G . Wallace, SC.Fry "Phenolic components of the plant" *cell wall. Int. Rev Cytol* 1994; Vol. 67.151-229.
- [4] S. Sharma, J. Stutzman, G . Kellof, V. Steele. "Screening of potential chemo-preventive agents using biochemical markers of carcinogenesis". *Cancer Res* 1994; Vol. 55. pp. 54:5848.
- [5] A.Djeridane, M. Yousfi, B. Nadjemi, P. Boutassouna Stocker, N. Vidal. Antioxidant of some "Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds". *Food Chem* 2006; Vol. 60. pp. 97- 654.
- [6] C. Wong, H. Li, K. Cheng, C. Feng. "A systematic survey of antioxidant activity of 30 Chinese medicinal plants using the ferric reducing antioxidant power assay". *Food Chem* 2006; Vol. 11. pp. 97: 705.
- [7] LR. Fukumoto, G.. Mazza." Assessing antioxidant and prooxidant activities and phenolic compounds". *J Agric Food Chem* 2000; Vol. 604. pp. 48- 3597.
- [8] D.Ock. K. Kim, J. Young, M. Hae-Yeon, YL. Chang. "Quantification of polyphenolics and their antioxidant capacity in fresh plums". *J Agric Food Chem* 2003; Vol. 15. pp. 51- 6509.
- [9] J. Zhishen, T. Mengcheng W. Jianming. "The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals". *Food Chem* 1999; Vol. 9. pp. 64-555.
- [10] M.F. Abu Bakar, M. Mohamed, A. Rahmat, J. Fry, "Phytochemicals and antioxidant activity of different parts of bambangan (*Mangifera pajang*) and tarap (*Artocarpus odoratissimus*)", *Food Chem.* .2009; Vol. 113. pp. 479- 483.
- [11] J. Lako, V.C. Trenerry, M. Wahlqvist, N. Wattanapenpaiboon, S. Sotheeswaran, R. Premier, "Phytochemical flavonols, carotenoids and the antioxidant properties of a wide selection of Fijian fruit, vegetables and other readily available foods", *Food Chem.* 2007; Vol. 101. pp. 1727-1741.
- [12] J.E. Villareal-Lozoya, L. Lombardini, L. Cisneros-Zevallos, "Phytochemical constituents and antioxidant capacity of different pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch] cultivars", *Food Chem.* 2007. Vol. 102. pp. 1241-1249.
- [13] M. Arnao, A. Cano, M. Acosta. "The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity". *Food Chem* 2001; Vol. 44. pp. 73 - 239.
- [14] Ki, D. Kim, L. Won, J. Hyong, Y. Chang. "Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolic phytochemicals". *J Agric Food Chem* 2002; Vol. 17. pp. 50-3713.
- [15] R.G. Marwah, M.O. Fatope, R.A. Mahrooqi, G.B. Varma, H.A. Abadi, S.K.S. Al-Burtamani, "Antioxidant capacity of some edible and wound healing plants in Oman", *Food Chem.* 2007. Vol. 101 pp. 465- 470.
- [16] D. Koné. "Enquête ethnobotanique de six plantes médicinales Maliennes Extractions, Identifications d'alcaloïdes caractérisation, quantification de polyphénols : Etude de leur activité antioxydante". Thèse de la Faculté des Sciences et Techniques (FAST), Bamako, 2009; 188 p.
- [17] A. Atiku, O.O . Oladipo, G.E. Forcados, A.S Abdullahi Shehu Usman and M.D. Mancha. "Anti-nutritional and phytochemical profile of some plants grazed upon by ruminants in North Central Nigeria during the dry season (January to April)". *International Journal of Livestock Production. National Veterinary Research Institute Vom Nigeria.* 2016. Vol. 7(4). pp. 19-23.
- [18] R. Govindarajan, M . Vijayakumar,, C., RAO. Venkateshwara, , A . Shirwaikar, Rawat, A.K.S, S. Mehrotra,, and P . Pushpangadan,, "Antioxidant Potential of *Anogeissus latifolia* Biol". *Pharm. Bull.* 2004. Vol. 27(8). pp. 1266-1269.
- [19] R. Van den Berg, G . Haenen, H . Van den Berg, V. Van den Berg, A .Blast. "The predictive value of the antioxidant capacity of structurally related flavonoids using the Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay". *Food Chem* 2000; Vol. 5. pp. 70-391.
- [20] H Hoste, F. Jackson, S. Athanasiadou, SM Thamsborg, SO. Hoskin. "The effects of tannin-rich plants on parasitic nematodes in ruminants". *Trends Parasitol.* 2006. Vol. 22. pp. 253-261.
- [21] A. Mouradov, G . Spangenberg. "Flavonoids: A metabolic network mediating plants adaptation to their real estate. *Front Plant" Sci.* 2014.Vol. 5. 620
- [22] AK. Salau, MT. Yakubu, AT. Oladiji. "*In vitro* and *In vivo* Antioxidant Activity of Aqueous Extracts of *Anogeissus leiocarpus* (DC) Guill and Perr and *Terminalia avicennioides* Guill and Perr Root Barks. *Cameroon" J Biol. Biochem Sci* 2015; Vol. 23. pp. 9-16.
- [23] K.K. Hodouto, A.M.R. Ahyi, M. Gbéassor. *Rev.*

- Med. Pharm. Afr.* 1991; Vol. 1. 181 p.
- [24] L. Tona, K. Kambu, D. Ntondélé, K. Cimanga, N. Luki. "Antimicrobial activity of tanins.*Fitoterapia*." 1994; Vol. 65. pp. 276 - 278.

Etude de la structure génétique de la population d'anophèles *Gambiae S.L* et la dynamique de la transmission du paludisme dans la commune rurale de Bacoumana

Rahinatou Rosalie ASSOGBA^{1*}, Sangaré Constance SOUKO¹, Nafomon SOGOBA², Sékou F. TRAORE²

¹Faculte des Sciences Techniques

²Malaria Research and Training Center de la Faculté de Médecine de Pharmacie et d'Odontostomatologie (MRTC/FMPOS)

*Adresse de correspondance : rahinatourosalie@yahoo.fr

RESUME : Les études entomologiques de la transmission du paludisme ont été portées sur un échantillon des moustiques capturés par spray-catch dans trois villages. La capture de nuit sur appât humain a été faite uniquement à Kenieroba. La forme moléculaire M prédominait dans toutes les localités 71,2% à Bozokin, 60,7% à Fourda et 60,0% à Kenieroba. Suivie de la forme moléculaire S dont l'analyse des chromosomes polyteniques a montré qu'elle était composée de la forme chromosomique Bamako 66,7% à Fourda, 68,6% à Kenieroba et la forme Savane 57,1% à Bozokin.

La densité anophélienne moyenne était de 9,3; 3,5 et 3,0 moustiques/case respectivement à Bozokin, à Fourda et à Kenieroba. Elle était plus élevée en saison de pluies mais les fréquences les plus élevées ont été observées en saison sèche à Bozokin et à Fourda. De même pour l'agressivité elle était de 31,3; 16,2 et 15,7 piqûres/personne/mois respectivement à Bozokin, à Fourda et à Kenieroba, une plus forte agressivité a été observée dans les hameaux de pêche qu'à Kenieroba en saison de pluies. Le complexe *Anopheles gambiae s.l* était anthropophile avec une moyenne de 80% dans la zone d'étude. Le TIE étant de 0,71 à Bozokin; 0,33 à Fourda et 0,22 inf/h/mois à Kenieroba, il existait une différence significative entre les villages ; il était plus élevé dans les hameaux qu'à Kenieroba tant en saison de pluies qu'en saison sèche.

Mots clés: génétique, *Anopheles gambiae s.l* dynamique, transmission.

I. INTRODUCTION :

Le paludisme est la maladie parasitaire la plus répandue dans le monde 300-660 millions sont infectés par an; (Snow., 2005). Au Mali, la morbidité (32,4%) et de mortalité (45,7%) chez les enfants de moins de cinq ans (PNLP, 2006). Le paludisme est dû à un hématozoaire du genre plasmodium. Au Mali, le paludisme est transmis par *Anopheles gambiae s.l* et *Anophèles funestus*.

Le complexe *Anophèles gambiae s.l* est composé d'*Anophèles arabiensis* et trois formes chromosomiques ont été réparties en deux formes moléculaires M (Mopti) et S (Bamako et Savane) (Favia et al., 2001) et (Fanello et al, 2002). Les trois formes chromosomiques ont été répartis en deux formes moléculaires M (Mopti) et S (Bamako et Savane) (Favia et al., 2001) et (Fanello et al, 2002). La durée et l'intensité de la transmission varient en fonction des zones éco-climatiques. Dans la savane nord-soudanienne, les gîtes larvaires d'*An. gambiae s.l* dépendent de la pluviométrie (Sogoba et al., 2007 Taylor et al., 1993 ; 1997). Par contre des densités de moustiques relativement élevées étaient rencontrées à quelques km de là dans les hameaux de pêches situés bord du fleuve en saison sèche. La transmission demeure ainsi permanente, dans cette zone. Il est donc nécessaire de mieux comprendre la structure de la population vectrice et l'évolution du paludisme afin de mener une stratégie appropriée de

lutte contre le paludisme. La présente étude a pour but d'analyser la structure génétique de la population vectrice d'*An. gambiae s.l* et la dynamique de la transmission du paludisme le long du fleuve Niger dans une zone de savane nord- soudanienne.

II. MATERIEL ET METHODES

Une étude longitudinale à passages transversaux a été effectuée de 10 à 12 jours par mois. Elle s'étendait de janvier à octobre 2008 : une saison sèche (de janvier à mai) et une saison de pluie (de juin à octobre). Le début, le milieu, et la fin de chaque saison ont été pris en compte, mais pour la saison sèche nous avons pris le mois de février pour des raisons d'échantillonnage du mois de mars.

Les moustiques ont été collectés par capture de nuit sur appât humain ou "Human Landing Catch" (HLC) et par capture de jour au pyrèthre ou "Pyrethrinoid Spray-Catch" (PSC) dans les habitations humaines (aspersion d'insecticides).

C'est la capture par pulvérisation d'insecticide à l'intérieur des cases habitées. Elle a eu lieu de 15h 00 à 17h 00. Trente cases ont été prospectées par séance à Kenieroba, au total deux séances de Spray ont été effectuées par passage, soit 60 cases prospectées par mois. Une séance par passage à Fourda et Bozokin avec 12 et 10 cases respectivement.

Il consiste à pulvériser le "Premium"[®] dans la case choisie après que porte, ouvertures et fenêtres aient été fermées et des draps blancs étalés sur le plancher pour recevoir les moustiques assommés.

Après 5 à 10 minutes, les moustiques morts ou moribonds tombés sur les draps ont été dénombrés. Pour chaque case prospectée, le nombre de dormeurs, le nom du propriétaire, le type de case et le nombre de moustiques collectés (par état de réplétion) étaient portés sur une fiche appropriée (voir en annexe la fiche de spray-catch). Les moustiques étaient ensuite conservés case par case dans des cryotubes contenant du fixateur de Carnoy (mélange un volume d'acide acétique CH₃COOH et trois volumes d'éthanol absolu C₂H₅OH). Une étiquette portant le numéro de la case et la date de capture accompagnait chaque tube. Ces moustiques ont été triés le lendemain en fonction de leur état de réplétion (à jeun; gorgé; semi-gravide; gravide). Rappelons que l'heure (15h à 17h) du spray a été choisie dans le but d'obtenir le maximum d'anophèles semi-gravides utilisés pour les études cytogénétiques.

Les différentes parties de chaque moustique ont été réparties dans des microtubes contenant du fixateur de Carnoy auquel on ajoute le numéro d'identification du moustique. Ces parties conservées sont traitées au laboratoire.

Après dissection sous une loupe binoculaire, la portion tête-thorax des moustiques était conservée individuellement dans des tubes Eppendorf de 1,5 ml vide pour la détermination de l'Indice d'Antigène Sporozoïtique (IAS) par la méthode d'ELISA (Beier et al., 1987) (Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay). Le reste du broyat d'ELISA était utilisé pour l'identification à la PCR (Polymerase Chain Reaction) des espèces A et B (Beier, et al., 1997 ; Scott et al., 1993) d'*An. gambiae s.l* et les formes moléculaires de l'espèce A (M et S) par la technique de (Favia et al., 2001) et, la technique de (Fanello et al., 2002). Le repas de sang était récupéré pour la détermination du taux d'anthropophilie à ELISA (Beier et al., 1988). Les ovaires des semi gravides ont été utilisés en cytogénétiques pour la détermination des formes chromosomiques.

La capture de nuit (cn), elle se fait de 18h le soir à 06h le lendemain matin. Deux séances de captures sont ainsi organisées par passage. La capture était faite par deux équipes qui se relaient toutes les quatre heures au niveau d'un même poste.

Par poste, chaque équipe comprenait deux personnes dont l'une à l'intérieur et l'autre à l'extérieur de la même case. Chaque individu est assis jambes nues, avec un aspirateur à bouche (type Coluzzi et Petrarca, 1973) et une source lumineuse (torche) pour capturer les anophèles qui viennent pour leur repas sanguin. Les deux partenaires s'alternent toutes les deux heures. Le lendemain matin, les moustiques obtenus sont triés par espèces et les anophèles sont disséqués

La capture de nuit a été faite uniquement à Kenieroba, nous avons deux postes donc quatre appâts humains par séance.

Les spécimens d '*An. gambiae s.l* capturés sur appât humain étaient disséqués et identifiés morphologiquement puis dénombrés par espèce et notés sur une fiche de base prévue à cet effet (annexe fiche de capture de nuit).

Après dissection les tête-thorax des moustiques sont conservés dans les tubes Eppendorf de 1,5ml vide pour la détermination du taux d'infection par la méthode d'ELISA. Le restant de broyat de moustiques était utilisé pour l'identification des espèces A et B du complexe *Anopheles gambiae s.l.* (A = *An. gambiae s.s* et B = *An. arabiensis*),

III. Résultats

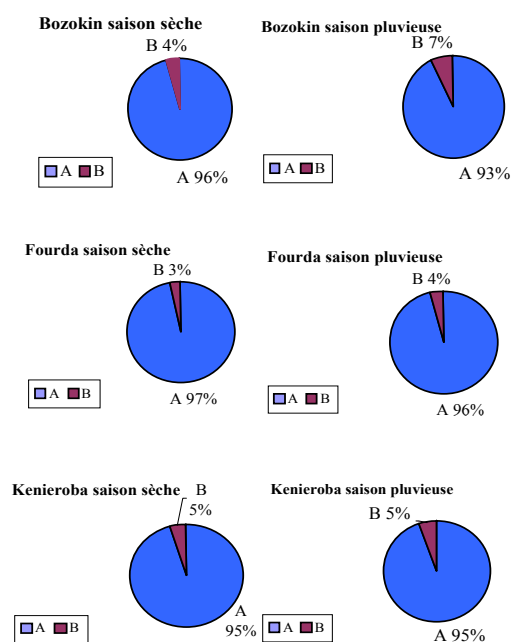
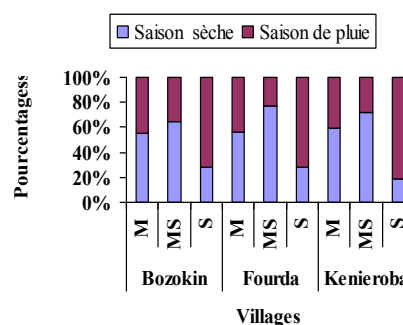


Figure1 : Fréquences relatives d'*Anopheles arabiensis* et d'*Anopheles gambiae s.s* à Bozokin, à Fourda et à Kenieroba de janvier à octobre 2008.



M : forme moléculaire, MS : forme hybride, S : forme moléculaire

Figure 2 : Variations saisonnières des formes moléculaires d'*Anopheles gambiae s.s* à Bozokin, à Fourda et à Kenieroba de janvier à octobre 2008

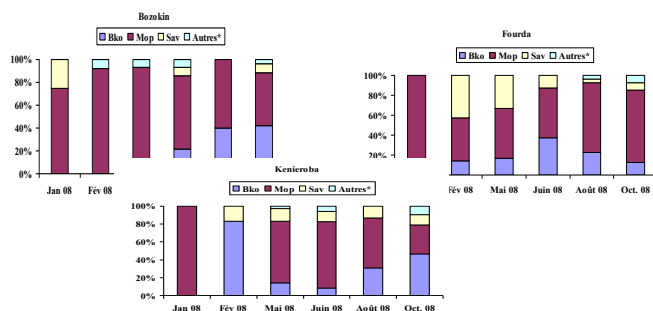


Figure 3: Fréquences relatives des formes chromosomiques d'*Anopheles gambiae* s.s. à Bozokin, à Fourda et à Kenieroba de janvier à octobre 2008.

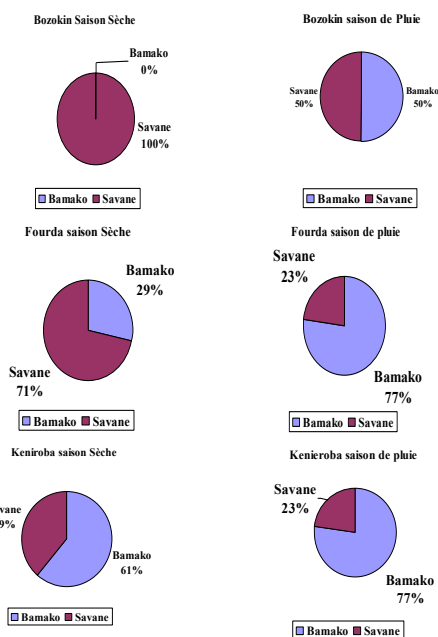


Figure 4 : Variations saisonnières de la composition chromosomique de la forme moléculaire S d'*An. Gambiae* s.s. à Bozokin, à Fourda et à Kenieroba de janvier à octobre 2008

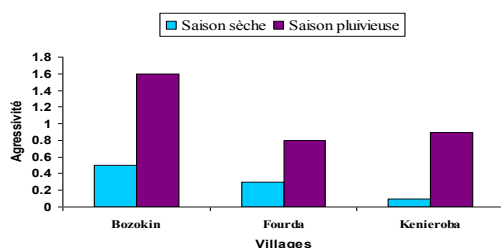


FIGURE 5 Variation saisonnières de la densité d'*An. Gambiae* s.l. établi à partir du spray-catch à Bozokin, à Fourda et à Kenieroba s.l. à Bozokin, à Fourda et à Kenieroba de janvier à octobre 2008.

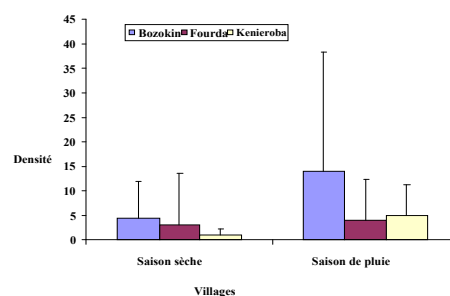


Figure 6: Variations saisonnières de l'agressivité d'*Anopheles gambiae* janvier à octobre 2008

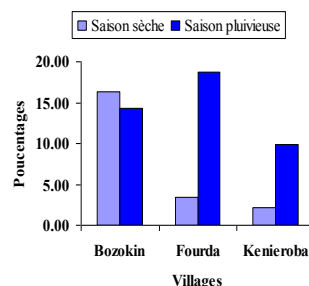


Figure7 : Variations saisonnières du taux d'inoculation entomologique d'*Anopheles gambiae* s.l. à Bozokin à Fourda et à Kenieroba de janvier à octobre 2008

IV. DISCUSSION

L'étude a montré la présence de deux espèces dans toutes les localités : *An. gambiae* s.s. et *An. arabiensis* avec une nette prédominance de près de 95% d'*An. gambiae* s.s. La prédominance d'*An. gambiae* s.s. pourrait être liée au climat de la zone d'étude située à la limite de la savane sud soudanienne et nord soudanienne non loin du fleuve Niger.

En effet des auteurs (Touré et al., 1984 ; Toure et al., 1998) ont rapporté qu'*An. gambiae* s.s. s'adapte aux zones de forêt et de savane humides alors qu'*An. arabiensis* se rencontre dans les zones sèches. L'analyse moléculaire d'*An. gambiae* s.s. a montré que la forme moléculaire M prédominait dans toutes les localités avec une fréquence relative moyenne de 71,2% à Bozokin, 60,7% au Fourda et 60,0% à Kenieroba. La prédominance de la forme Mopti pourrait être due à son adaptation aux conditions écologiques du Mali y compris le sahel, et particulièrement les zones inondées et irriguées.

L'abondance de la forme moléculaire S en saison de pluies est liée à l'humidité, prévalant dans la savane sud soudanienne (Toure et al., 1998). L'analyse des chromosomes polyténiques de la forme moléculaire S a montré qu'elle était majoritairement composée de la forme chromosomique Bamako à Fourda (66,7 %) et à Kenieroba (68,6%) et de Savane à Bozokin (57,1%). La densité moyenne par case d'*An. gambiae* s.l. observée à Bozokin (9,3) Fourda (3,5) et à Kenieroba (3,0). Il y avait des variations mensuelles des densités dans les trois villages.

En saison sèche, les densités à Bozokin (4,6 ; 95%) et à Fourda (3,1 ; 95%) étaient significativement plus élevées que celles du village de Kenieroba (1,0 ; 95%). Cette situation pourrait s'expliquer par la présence du fleuve qui offre des lieux de reproduction suite à sa décrue (Sogoba et al., 2007) où l'humidité relative pourrait être plus élevée. Des variations significatives et non constantes étaient cependant observées. Le taux d'infection le plus élevé était observé au mois de janvier à Bozokin (7,69%), au mois de juin à Fourda (8,57%) et au mois de février à Kenieroba (5,13%). Le taux d'inoculation entomologique moyen de la période d'étude était de 0,71 ; 0,33 et 0,22 piqûres infectantes par personne par mois respectivement à Bozokin, à Fourda et à Kenieroba. Il y avait des variations mensuelles significatives au niveau TIE dans et entre les différentes localités. La transmission était continue à Bozokin, à l'exception du mois d'août. Elle était focalisée à la saison sèche à Fourda et était surtout notoire vers la fin de la saison de pluies à Kenieroba.

V. CONCLUSION

Cette étude a montré la présence des deux espèces du complexe *An. gambiae s.l* décrites au Mali avec une nette prédominance d'*An. gambiae s.s* sur *An. arabiensis* quel que soit la saison et la localité.

La forme moléculaire M était la plus abondante. Le pic de fréquence de la forme moléculaire S était observé vers la fin de la saison des pluies mais était bel et bien présente pendant toute la saison sèche. Les résultats de notre étude supportent l'hypothèse du confinement de la forme chromosomique Savane à des endroits favorables pendant la saison sèche et sa dispersion dès que les conditions redeviennent favorables. La transmission a lieu dans la zone d'étude toute l'année et est particulièrement élevée en saison sèche dans les hameaux de pêche le long du fleuve.

RECOMMANDATIONS

Au terme de cette étude, nous recommandons aux : DPNLP, aux centres de recherche sur le paludisme, au ministère de la santé: Une forte sensibilisation de la population sur l'impact du paludisme ; une lutte anti vectorielle à grande échelle et à l'échelle individuelle en saison sèche aussi bien qu'en saison de pluies; une lutte anti larvaire en saison sèche dans les gîtes fluviaux en utilisant les extraits de neem comme biolarvicides (*Azadirachta indica*) et Bti (*Bacillus thuringiensis israelensis*); une pulvérisation intradomiciliaire essentiellement dans les hameaux de pêche proche du fleuve en saison sèche;

Une collaboration entre le DPNLP, les centres de recherche sur le paludisme et la direction de l'assainissement pour l'éradication de la maladie.

REFERENCES

- [1] Fanello, C., F, Santolamazza., and A, Della. Torre., (2002). Simultaneous identification of species and molecular forms of the *Anopheles gambiae* complex by PCR-RFLP. *Med. Vet. Entomol* 16: 461-4.
- [2] Favia, G., Lanfrancotti, A., Spanos, L., Siden-Kiamos, I., Louis, C., (2001). Molecular characterization of ribosomal DNA polymorphisms discriminating among chromosomal forms of *Anopheles gambiae s.s*. *Insect Mol Biol* 10(1).
- [3] Taylor, A., (1993). Temporal and spatial distribution of anopheline mosquitoes in an Ethiopian village: Implication for malaria control strategy.
- [4] Taylor, A., (1997). Epidemiology of malaria and prediction of retransmission in Babylon governorate Iraq.
- [5] Sogoba, N., Doumbia, S., Vounatsou, P., Baber, I., Keita, M., Maiga, M., Traore, S. F., Toure, A., Dolo, G., Smith, T., and Ribeiro, J. M., (2007). Monitoring of larval habitats and mosquito densities in the Sudan savanna of Mali: implications for malaria vector control. *Am J Trop Med Hyg* 77 (1), 82
- [6] Touré, Y.T., Petrarca, V., and Coluzzi, M., (1984). Bioécologie et importance vectorielle des taxa du complexe *An.gambiae* au Mali. *IVème congrès sur la protection de la santé humaine et des cultures en milieu tropical*.
- [7] Touré, Y.T., Petrarca, V., Traorè, S. F., Coulibaly, A., Maïga, M., Sankarè, O., Sow, M., Di Deco M.A and Coluzzi, M., (1998b). The distribution and inversion polymorphism of chromosomally recognized taxa of the *Anophèles gambiae* complexe in Mali, west.
- [8] Snow, W., Guerra, C. A., Noor, A. M. , Myint, H.Y., and Hay, S.I. (2005). The global distribution of clinical episodes of plasmodium falciparum malaria. *Nature* 434, 214.
- [9] PNLP., (2004). Politique Nationale de Lutte contre le Paludisme 2e révision, (Juillet 2003, Juin.

SCIENCES DE L'EDUCATION

Mendicité : style d'éducation ou signe de pauvreté ? Analyse de la mendicité et du savoir-vivre ensemble à la lumière du Coran, des hadiths et des politiques éducatives et sociales du Mali

Alhassane GAOUKOYE

Université des Lettres et des Sciences Humaines de Bamako (ULSHB)

Email de correspondance : gaoukoyedicko@yahoo.fr

SOMMAIRE : Phénomène universel, la mendicité ne cesse de prendre des proportions inquiétantes dans de nombreux pays à travers le monde. Tantôt sévèrement réprimée par la loi, tantôt tolérée pour des motifs culturels et théologiques, la mendicité demeure parmi les nombreuses questions traitées dans le Coran et les hadiths. A travers de nombreux versets du Coran, Allah interpelle la conscience des croyants à rivaliser dans la prise en charge des nécessiteux, des mendiants, de leur réserver un bon traitement et d'éviter de les repousser avec violence. Dans plusieurs hadiths authentiques, le Prophète de l'islam glorifie les hommes vertueux qui soulagent les demandeurs, c'est-à-dire les mendiants. Toutefois le Coran comme les hadiths balisent les actes qui poussent à la mendicité, définissent les catégories de personnes concernées et fixent une ligne rouge que le croyant n'est pas autorisé à transgresser. A travers des exemples tirés de la culture malienne, des entretiens avec des enseignants-chercheurs, des imams de mosquée, des lectures de traditionnalistes réputés, des textes juridiques nationaux, africains et des conventions internationales, nous avons tracé l'histoire de la mendicité. Il en résulte que la mendicité est un problème complexe aggravé par la pauvreté, la mauvaise répartition des richesses et la mauvaise éducation. Loin d'être autorisée par l'islam, elle constitue une menace pour les valeurs de cette religion et risque de gripper les rapports sociaux entre les membres de la société. Les références au Coran et aux hadiths sont le point de départ d'une réflexion sur la mendicité qui tend à devenir une profession et à modeler les caractères de certains adultes et enfants. Tels sont les aspects de la mendicité que les politiques éducatives et sociales maliennes éprouvent de difficultés à circonscrire.

Mots-clés : Mendicité, islam, hadiths, éducation, savoir vivre, équité, politiques éducatives et sociales

I. INTRODUCTION ET ÉLUCIDATION DU CONCEPT DE MENDICITE

Le terme mendiant renvoie à plusieurs définitions. Au Mali, le mendiant communément appelé *garibou* (hôte en arabe) désigne généralement le talibé ou élève coranique qui se déplace de famille en famille pour quêmander. Aujourd'hui, la mendicité est pratiquée par des personnes aux parcours multiples (handicapés physiques, visuels, personnes âgées, jumeaux, déplacés de guerre, réfugiés, ressortissants des pays étrangers, etc.). La mendicité devient de plus en plus une pratique courante dans toutes les régions du Mali, en particulier à Bamako. À titre d'illustration, en 2005, une étude menée par la Direction Nationale du Développement social dénombra 20 579 mendiants dont 5020 enfants recensés uniquement à Bamako. En 2007, la même structure dans une autre étude auprès des adultes et des enfants,

estima la population des mendiants à Bamako, Ségou et Mopti à 6 664⁵. La pauvreté, les conflits, la mauvaise distribution des richesses à l'échelle de la société, la transformation des mœurs accentuent la mendicité. Mais avant de s'intéresser à la genèse de ce phénomène, tentons de définir la mendicité. Pichonnat (2012) dit à propos :

« La mendicité consiste à demander à autrui une aide (le plus souvent de l'argent ou de la nourriture) sans contrepartie. Le manque de ressources matérielles et l'impossibilité de gagner de l'argent par d'autres moyens peuvent conduire un individu à mendier dans le but de répondre à ses besoins. La mendicité est souvent perçue de façon ambivalente. Une personne mendiant suscite chez le passant des réactions très diverses allant de l'altruisme à des sentiments de peur ou d'impuissance face à la pauvreté ». ⁶ Dans cette définition, le mendiant apparaît comme un

⁵ [Http://www.afribonemali.net/spip.php?article12986](http://www.afribonemali.net/spip.php?article12986)

⁶ Pichonnat L., 2012, Faut-il interdire la mendicité, P.1.

individu souffrant d'une incapacité ou d'un manque de revenu qui le pousse à solliciter la solidarité, la générosité des autres membres de la communauté pour satisfaire à ses besoins vitaux. En fait, le mendiant est un indigent qui ne peut survivre qu'avec l'assistance de la charité des autres.

Dans cette étude nous visons plusieurs objectifs :

- définir et retracer l'histoire de la mendicité au Mali
- examiner le point de vue de l'islam sur la mendicité et le savoir vivre en société
- analyser les dispositions nationales et les conventions internationales de protection de l'enfant et lutte contre la mendicité.

II. HISTORIQUE DE LA MENDICITE AU MALI

Les entretiens réalisés avec de nombreux imams et lettrés de langue arabe, la lecture de l'ouvrage de Ba et Daget⁷, incitent à soutenir que la mendicité fut instituée dans l'empire Peulh du Macina. Elle visait à assurer aux élèves coraniques venus de pays divers d'apprendre dans les meilleures conditions, à réformer l'orgueil du jeune enfant peulh, en l'inclinant vers l'humilité et l'altruisme, deux qualités fondamentales prônées par l'islam. Pour bien cerner la mendicité à ses origines, il est utile de rappeler la grandeur et la modestie de son initiateur. Cheikou Amadou était annoncé comme le 12^{ème} calife orthodoxe de l'islam suivant des révélations mystiques faites aux émissaires de l'Askia Mohamed par Chamharouch Djinni⁸. Il était décrit comme un commandeur jouissant de grandes qualités spirituelles. Le Coran et les hadiths du Prophète Mohamed étaient ses principales références. Le narrateur conclut qu'« il devra son influence au courage de ses partisans et à la droiture civique de ses conseillers » (BA et Daget : 1984 : 18).

Fils de Hammadi Boubou et de Fatimata, fille d'Alfa Gouro de Toummoura, la naissance de Cheikou Amadou, déjà annoncée par *Chamharouch Djinni*, fut confirmée par la prédiction des géomanciens du roi Bambara, Séno Bokikiyo⁹. L'enfant fut élevé par son grand-père maternel après le décès de son père. Il entra à l'école coranique à 7 ans et reçut successivement les enseignements d'Alfa Hambarké Sangaré, de

Laré Bali et d'Alfa Samba Hammadi Bamma¹⁰. Amadou se rendit à Sono, auprès d'Almami Sono pour se perfectionner dans le Coran qu'il maîtrisait à 12 ans. Il partagea ses loisirs entre les études coraniques et son métier de berger durant une dizaine d'années. Vers sa 18^{ème} année, il épousa sa cousine du côté maternel, Adya. A 22 ans, Amadou était devenu un marabout notoire¹¹. Il se rendit à Djenné, carrefour des grands hommes de sciences, métis arabes, songhay et markas. Il campa à Roundé Sirou, non loin de Djenné, avec son troupeau et ses talibés. Il parcourut la ville et fit la connaissance de Seydou Poullou, puis du célèbre marabout et mystique de Kanafa, Kabara Farma, et de ses deux compagnons, véritables ascétiques, détachés des plaisirs du bas monde : Ousmane Bokari et Alfa Hamidou Sissé¹². Ce dernier était un véritable visionnaire dont les paroles se réalisaient toujours. Il était toujours misérablement habillé en guenilles et ne vivait que de quelques poignées de nourriture mendée.

Grand connaisseur de l'âme humaine, Kabara Farma, ne tarda pas à pénétrer les profondeurs de l'esprit d'Amadou qu'il orienta vers la lecture du grand mystique Cheik Abd el Qader el Djilani. Homme pieux, Amadou commença à inquiéter les marabouts de Djenné qui lui reprochent son non respect des traditions et coutumes qui régissent la mosquée où il priait. Dans cette épreuve difficile, Amadou bénéficia du soutien de la communauté marka regroupée, autour du charismatique Ismaila Diakité, imam de Gomitogo, préférant son ascétisme à la bigoterie des métis arabes et songhay. Par ailleurs, la convoitise et la haine dues à la renommée montante d'Amadou, et surtout le songe d'Ousmane Bokari dans lequel un hâtif¹³ lui informa de la naissance d'un royaume théocratique qui écrasera les fétiches de Ségou, annonçaient l'aurore de Cheickou Amadou de Macina. D'ailleurs, ce songe de Ousmane Bokari qu'Amadou lui-même a fait, confirmé par Ismaila Diakité, doué dans l'interprétation des rêves, venait de réunir les destins d'âmes pètries de sciences, de foi et d'ascétisme, qui marqueront la naissance d'un puissant empire spirituel et temporel dans le Soudan occidental.

L'empire peulh du Macina fut marqué durant toute son existence par la forte personnalité et la générosité de Cheikou Amadou, la probité morale des membres du Grand conseil. Dans la capitale du

⁷ Ba.H.A. et Daget. J, 1984, L'empire Peulh du Macina (1818-1855), les Nouvelles Editions Africaines et Editions de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Abidjan, Côte d'Ivoire.

⁸ Ba.H. A et Daget.j, ibid p.19.

⁹ Ba.H. A et Daget. J, ibid, p.20

¹⁰ Ibid, p.21

¹¹ ibid

¹² Ibid, p.22-23

¹³ Ibid, p.25

nouvel empire, Hamdallaye, subsistent encore des mœurs ancestrales dont les membres du Grand conseil ne tardent pas à dénoncer la nuisance pour la quiétude des populations : c'est le cas de la mendicité des talibés. Ces plaintes parvinrent à Cheikou Amadou qui demande l'avis du Grand conseil sur la question très sensible des talibés qui quémament à Hamdallaye. La réponse des membres de cette assemblée fut sans appel pour les mendiants qui devraient être expulsés de la ville « pour violation de domicile »¹⁴. Cheikou Amadou convia tous les *santad'i* pour mettre à exécution son plan mûrement réfléchi. Ba et Daget (1984 : 55-56), rapportent dans un style cohérent cette décision solennelle, humaniste qui fera fléchir les sages de Hamdallaye, en les incitant à prendre une sentence pour conjurer la nuisance de la mendicité, mais surtout éviter l'évasion délibérée du chef spirituel du Macina, se déclarant lui-même, le maître des *santad'i* :

*Cheikou Amadou fit convoquer à la grande mosquée tous les santad'i de Hamdallaye. Il leur dit : les notables et les hommes mariés de Hamdallay sont excédés de votre mauvaise conduite. La ville leur appartient et ils décident de vous expulser. Je ne puis que m'associer à eux. Après la prière de zohr, vous viendrez ici avec vos objets personnels. Puis se tournant vers les notables qui assistaient à la scène : « Etes-vous satisfaits ? » « Nous le sommes ». « Eh bien, ce soir vous serez débarrassés de ces inopportuns. ». Quand tous les santad'i furent rassemblés, Amadou sortit de chez lui et prit la tête du groupe pour aller vers des terres meilleures, en scandant à vive voix « Quittons Hamdallaye, mes frères ». Ce qui scandalisa les notables qui se jetèrent devant Amadou pour implorer le pardon pour leur inélégance. Pourtant Amadou fixa des conditions pour renoncer à sa décision ferme. Elles furent acceptées sans restriction. Alors, satisfait, Amadou laissa entendre : « Puisque vous ne voulez pas que vos domiciles soient violés par les santad'i, il faut que chaque chef de famille prévoit un plat pour eux à chacun des trois repas quotidiens. Ces repas seront regroupés à proximité de la mosquée, en un lieu où les santad'i se réuniront pour manger ». Par ailleurs, une mise en garde coercitive fut adressée à tout *santârû* récidiviste pris à l'intérieur d'une concession, « passible de coups de corde ». Le compromis des membres du Grand conseil avec Cheikou Amadou inaugura l'institution d'un contrat entre la communauté et les *santad'i*. Le dénouement heureux du problème des *santad'i**

montre la finesse des dirigeants de cette époque à se surpasser pour protéger la société du danger de la mendicité. Elle institua une nouvelle ère dans les rapports entre les pauvres et les nantis dans l'empire naissant de Hamdallaye.

Les propos rapportés par Hampâté Bâ sont confirmés par MHD, enseignant-chercheur à la Faculté des Lettres et des Sciences du Langage (FLSL) dans un entretien réalisé à Bamako, le 28 août 2015, à la mosquée de Baco-Djicoroni, près du commissariat du 15^{ème} arrondissement.

La mendicité aurait fait son apparition dans l'empire peulh du Macina ou Dina, à l'époque de Sékou Amadou. Il était surtout pratiqué par les élèves coraniques (talibés) qui se rendaient deux fois dans les familles, à l'heure du manger, pour quémander. Les habitants avaient commencé à se plaindre de leurs comportements, car certains les accusent de violer leur intimité en entrant jusque dans la cour de leurs maisons. Les échos de ces plaintes¹⁵ étaient parvenus à Sékou Amadou. Contrarié, le roi rassemblait tous les talibés-étrangers d'Allah, et décida de quitter la ville avec eux. Les habitants intrigués par cette attitude insolite de leur roi, négocia âprement pour le convaincre de rester, et jura de réserver un traitement plus méritoire à ces élèves coraniques. La communauté s'engagea à supporter la charge des talibés. Chaque famille, selon ses moyens, apportait un plat au quartier général des talibés. En retour, il est était interdit aux talibés de troubler la quiétude des familles. Cette mesure était salubre, car elle permettait à la communauté de financer la prise en charge des études de ses enfants. Par ailleurs, cette première forme de mendicité s'inscrivait dans l'éducation du jeune Peulh et visait surtout à casser son orgueil. C'est pourquoi, elle était pratiquée par tous ceux qui apprenaient le Coran.

La sagesse contenue dans cet extrait d'entretien est double : celle de faire le procès de la communauté envahie par l'égoïsme né de l'amour des biens du bas monde et celle de cultiver l'altruisme, caractéristique de la société vertueuse et des croyants inspirés par la miséricorde divine. La misère de l'autre doit interpeller d'abord le chef, ensuite tous les pieux qui luttent continuellement contre l'avarice. D'ailleurs, Al-Djazaïri¹⁶ rapporte un verset (Coran : 59 :9) qui décrit la noblesse des caractères des croyants : « Ils donnent la préférence aux autres, fussent-ils eux-mêmes dans

¹⁴ Ibid, p.55

¹⁵ Ba.H. A et Daget, ibid. p19.

¹⁶ Al-Djazaïri.A.B.D., p.121.

la gêne. Bien heureux ceux qui se gardent de l'avarice ». Ce verset est renforcé par un hadith du prophète, qui affirme, «Nul ne peut être croyant, tant qu'il n'aimera pas pour son frère ce qu'il aime pour lui-même»¹⁷. La réaction de Cheikou Amadou de quitter Hamadallaye et d'aller en aventure vers une terre plus clémente s'inscrit dans l'hospitalité reconnue par l'islam et aussi par la tradition peulh. D'après, MHD, la bienveillance à l'égard des talibés s'inscrivait dans la prophétie de Cheikou Amadou dans laquelle, il demandait à Dieu de « la faire prospérer (ville de Hamdallaye) autant que la justice et la religion y seront honorées »¹⁸. Le fondateur de Hamdallaye voulait donc éduquer ses compatriotes en les obligeant à gravir le chemin douloureux des hommes vertueux, compagnons du prophète plein de mansuétude, dont le califat de Cheikou Amadou est l'incarnation lointaine. L'abandon de ce serment après la mort de Cheikou Amadou puis l'éclatement de l'empire peulh de Macina, l'intrusion de marabouts tentés par les richesses mondaines, vont provoquer la détresse morale des docteurs de la religion, faire dépérir l'instruction et éclore des vices qui accélèrent à la fois la corruption des mœurs, la thésaurisation de l'argent. Aujourd'hui, la mauvaise exploitation de la religion dégénère dans une profusion de caractères déviants chez les marabouts et leurs talibés d'une part, imités par d'autres personnes sans pudeur, d'autre part. Telles sont les allures prises par la mendicité, simple bonne pratique défendue dans la Dina et conforme à la fois aux traditions africaines et aux qualités d'hospitalité, de justice, d'altruisme, prônées par l'islam. C'est le sens des propos de MHD qui poursuit sa narration :

Après l'éclatement de la Dina, les talibés et les maîtres coraniques étaient livrés à eux-mêmes. Les maîtres coraniques se déplaçaient ou plutôt voyageaient avec leurs talibés de village en village. Les marabouts toujours vénérés recevaient l'hospitalité des habitants qui les prenaient en charge et réservaient un plat pour les talibés. Pour compléter cette part symbolique, les talibés portaient quémander le complément dans les familles à l'heure du manger. Ils venaient le présenter au marabout avant de réunir les plats et les manger ensemble. Certains marabouts entrepreneurs utilisaient les élèves coraniques pour cultiver des champs mis généreusement à leur disposition par des hommes riches et pieux. Les céréales récoltées servaient à entretenir le

marabout et ses talibés et les épargnant de mendier. C'est la deuxième forme de mendicité.

Avec la dépravation des mœurs, certains marabouts utilisaient leurs talibés pour avoir de l'argent et d'autres biens précieux. Ils s'éloignaient de leur mission, celle d'apprendre le Coran et d'éduquer les enfants. C'est la troisième forme de mendicité. Aujourd'hui, beaucoup d'enfants sous le couvert d'élèves coraniques pratiquent la mendicité. En enquêtant, on se rend compte qu'ils n'ont pas de marabout et évoluent pour leur propre compte. Aujourd'hui, ces enfants constituent des réseaux inquiétants privés de toute éducation.

III. LA TRADITION MALIENNE ET LA RELIGION MUSULMANE ENCOURAGENT-ELLES LA MENDICITE ?

Le mot *garibou* dérivé de l'arabe *garib*, signifie hôte, étranger, invité. Dans la tradition africaine, l'étranger doit être accueilli avec un visage radieux et bénéficier de tous les privilèges liés à l'hospitalité. L'étranger ne s'annonce pas. Le repas dans l'Afrique traditionnelle n'est pas préparé pour les seuls membres de la famille, une part est toujours réservée à l'étranger. L'observateur extérieur peut être surpris par la grande quantité de repas préparée qui dépasse souvent les besoins de la famille. En effet, cette stratégie moins économique consiste à prévoir les hôtes dont le nombre et l'heure d'arrivée ne sont pas connus. Par ailleurs, il est un devoir social et religieux d'accueillir les hôtes. À titre d'illustration dans la commune rurale de Gabéro, région de Gao, l'étranger est perçu comme un envoyé de Dieu auquel on réserve un traitement spécial. Lorsqu'on reçoit un hôte, la tradition vous oblige à lui égorger un animal¹⁹. Au cas où, la famille n'en possède pas, elle peut abattre n'importe quel animal à sa portée pour honorer son hôte sans que cet acte soit sanctionné par le propriétaire de l'animal. C'est le seul moment où on use du « *tonyé* », c'est-à-dire du droit d'agresser légitimement les biens de son voisin sans représailles de celui-ci ou d'amende de la société.

Chez les Touareg du Gourma de la région de Gao, on sert tout le plat de la famille à l'étranger. Les membres de la famille se contentent de se servir des restes pour calmer leur faim.

¹⁷ Al-Djazaïri A.B.D., p.121.

¹⁸ Ba.H. A et Daget, *ibid*, 45.

¹⁹ Un petit ruminant par exemple un mouton, une chèvre.

Chez les Peulhs du Niger, Béidi (2015 : 20), constate que l'épouse peut décider sans se référer à son mari. Aussi, il revient à la femme peulh d'accueillir avec allégresse son hôte conformément au dicton : « Si une barbe reçoit ton hospitalité, disent les sages, traite-la bien ; il est d'autres lieux où elle a grandi »²⁰.

L'arrivée d'un étranger oblige tous les membres de la communauté à s'occuper de lui et partager les dépenses pour son séjour en famille. Même si un conflit oppose les frères ou d'autres membres de la famille, ils taisent leurs dissensions pour sauver l'honneur de leur famille. Cette exigence est tellement présente chez les Peulhs du Dallol Bosso du Niger que « Ton frère consanguin veut entendre ta mort, mais ne veut pas entendre ton déshonneur »²¹. Enfin, l'étranger n'acceptera jamais de manger le repas s'il n'est pas convaincu de la sincérité de l'accueil. À travers ces trois exemples, il ressort que l'hospitalité oblige l'individu à consacrer à l'autre une grande considération, supporter la faim et la soif pour rendre son hôte heureux. Cette marque de bon caractère présente dans les sociétés africaines est fortement louée par la religion. Al -Djazaïri relate le hadith suivant rapporté par les imams Boukhari et Mouslim : « Un hôte frappa à la porte du Prophète (ﷺ). Celui-ci n'a rien trouvé chez lui à lui donner. Un Ançarite de passage prit l'hôte avec lui. Comme le repas était insuffisant, il mit la nourriture devant l'invité, demanda à sa femme d'éteindre la lampe et il fit semblant de manger sans rien goûter jusqu'à ce que l'homme eût fini son repas. Au matin le Prophète (ﷺ) lui dit : Dieu est bien ravi de ce que vous avez fait avec votre invité hier soir ! Dieu révéla à leur sujet ce verset : ils donnent la préférence aux autres fussent-ils eux-mêmes dans le besoin ».²²

L'islam encourage l'entraide, la compassion entre les croyants et prône plus de générosité pour soulager les déshérités. Aussi, dans des circonstances exceptionnelles, certains docteurs de l'islam se référant à des hadiths authentiques du prophète²³, semble tolérer la mendicité dans trois cas déterminés.

IV. L'ISLAM CIRCONSCRIT LA MENDICITE

La vie de l'homme est une alternance d'épreuves à la fois joyeuses et malheureuses. Celles-ci ont pour but de tester la sincérité et le degré de foi du croyant. Plus l'homme est pieux, plus il est soumis

à des épreuves qu'il doit supporter en se remettant absolument à Allah. Aussi, le musulman éprouvé par les secousses de la vie tout en gardant avec dignité sa foi, doit préserver son honneur. C'est pourquoi, il ne lui est pas permis de se rabaisser, de tendre la main qu'à condition d'être frappé par une calamité. C'est l'exemple typique de Qabissa ibn Moukhariq auteur de ces propos adressés au prophète qui lui assigna les mobiles qui pourraient amener une personne à mendier.

Il a dit : « J'avais pris l'engagement de payer une rançon pour mettre fin à une querelle qui a surgi au sein de mon clan. Je vins trouver le Messenger d'Allah (PSL) pour lui demander de m'aider à honorer mon engagement et il me dit : 'Reste avec nous et attends que nous viennent les aumônes et j'ordonne qu'on t'en donne'. Puis il me dit : 'Ô Qabissa ! Sache que la mendicité n'est permise qu'à l'un des trois (individus) : Quelqu'un qui a pris en charge de payer une rançon pour mettre fin à une querelle. Celui-là peut demander assistance jusqu'à ce qu'il obtienne la valeur de la rançon dont il est redevable puis s'arrête de demander. Quelqu'un dont les biens ont été frappés par une calamité. Celui-là a le droit de demander assistance jusqu'à ce qu'il retrouve de quoi vivre. Quelqu'un qui souffre d'une disette dont témoignent trois hommes intègres de son peuple. Il lui est permis de demander assistance jusqu'à ce qu'il puisse subvenir lui-même à ses besoins' » (Mouslim).

L'examen des propos du prophète dévoile toute la compassion d'Allah envers ses créatures. L'islam ne saurait se réduire à une pratique aveugle et dogmatique de préceptes. Mais, il tient compte du contexte et donne des limites au croyant pour résoudre des situations désespérées. Dans le cas de Qabissa Ibn Moukhariq, le Messenger de Dieu tout en l'assistant dans son malheur, l'enseigne la morale coranique et les limites autorisées par son acte. La mendicité est permise dans trois situations : le musulman peut mendier pour s'acquitter d'une dette (rançon), payer une rançon et éviter un conflit ; en cas d'incendie ou d'inondation, (calamité naturelle), de faim (disette). Chacun de ces cas est motivé par des conditions strictes dont la satisfaction n'autorise plus le musulman à user de la mendicité. En dehors de ces trois cas de détresse (rançon, calamité, disette), il est formellement défendu au musulman possédant un bien modeste de s'adonner à la mendicité. Quiconque réclame quelque chose alors qu'il possède la valeur d'une once (200g) a certes

²⁰ Béidi B.H., p.20.

²¹ Ibid, p.21.

²² Al Djazaïri A.B.D., p.123.

²³ Paix et Salut de Dieu Sur Lui

importuné (les gens), rapporte l'imam Ahmad (11044). L'islam soucieux du maintien d'un climat social agréable proscrit la mendicité des individus qui possèdent le minimum vital. Toutefois, il exhorte tout croyant sincère de présenter un bon visage à celui qui demande même s'il se déplace sur un cheval.

V. COURTOISIE ET COMPASSION ENVERS LE DEMANDEUR

L'islam enseigne au musulman la meilleure manière de vivre en société. La révélation du Coran pendant vingt-trois ans sur le Prophète Mohamed vise à réformer et parfaire les mœurs, éduquer l'homme par l'adoration du Dieu Unique et la préservation de sa dignité, de son honneur, d'épargner à l'homme l'humiliation, et l'inciter à l'effort pénible, au travail. L'exemple du prophète Mohamed lui-même, de ses quatre califes et de leurs successeurs, est la parfaite illustration de cette morale coranique. Dans le Coran, Allah rappelle à son messenger sa condition antérieure (d'orphelin et de pauvre) et l'exhorte à bien traiter le demandeur : « Quant au demandeur (mendiant) ne le repousse pas durement » (Coran : Sourate 93 : verset 10).

Le musulman qui compatit au malheur de son semblable est approuvé et promis à une grande récompense dans l'au-delà. Ainsi, les riches par leur zakat et leurs aumônes contribuent à assister les pauvres et agrandir le cercle de la solidarité entre frères musulmans. Par ailleurs, la menace pèse sur les riches avares qui ne s'acquittent pas de leur devoir envers les couches les plus défavorisées. Ils portent les traits caractéristiques des hypocrites et ceux qui ne croient pas au jugement dernier. C'est le sens du message contenu dans les sourates 107 et 93 du Coran :

« Vois-tu celui qui traite de mensonge la Rétribution ? C'est bien lui qui repousse l'orphelin. Et qui n'encourage point à nourrir le pauvre (Coran : Sourate 107 : versets 1, 2, 3).

« Ceux qui s'y refusent à nourrir les pauvres » et durs envers les orphelins portent la marque des hypocrites, c'est-à-dire ceux qui ne croient pas à la Rétribution » (Coran : 93 : 10).

VI. DES MERITES DE S'ABSTENIR DE MENDIER

La mendicité en tant que fléau social résulte d'une mauvaise redistribution des richesses entre les

membres de la société, de la thésaurisation des biens et d'une montée de l'avarice. Ainsi, l'individu acculé par les fardeaux de la vie se voit contraint de tendre la main pour survivre et satisfaire ses besoins vitaux élémentaires. La mendicité dans ce contexte ne saurait être un acte délibéré. Elle serait donc, selon les propos du Prophète Mohamed rapportés par Samoura Ibn Joundab, « une blessure que l'on fait à son propre visage, sauf si l'on s'adresse à une autorité ou si l'on est acculé par une nécessité réelle ». La gravité de la mendicité exercée de façon volontaire par le musulman bien portant est de contribuer à la corruption des mœurs, de faire place à l'oisiveté et à l'improductivité. Par ailleurs, mendier est une atteinte tragique à l'honneur du musulman. Or dans son pèlerinage du sermon ou d'adieu²⁴, le Prophète Mohamed, a rappelé aux croyants qu'« Allah a rendu votre sang, vos biens et vos honneurs sacrés jusqu'à la rencontre de votre Seigneur »²⁵. De nombreux entretiens réalisés font ressortir la détresse morale de certains mendiants qui usent de mensonge pour soutirer de l'argent à leurs frères musulmans et dévoilent ainsi leur intimité. A. A. Maïga, diplômé d'une université islamique de Libye, imam d'une mosquée de Kalaban Coro-Adekene, rapporte les récits de deux mendiants à la fois pathétiques et déroutants. Ces récits lui ont été relatés par un ami qui prie en sa compagnie dans la même mosquée :

Un vieux mendiant s'est levé après la prière et a supplié les fidèles de lui venir en aide, sinon sa famille passera la nuit sans dîner. Très touchés par la supplication de ce chef de famille très éprouvé, chaque fidèle se hâte à lui donner quelque chose en fonction de ses moyens. Toutefois, Allah voulait révéler la vraie face de cette personne. Le vieux mendiant, emporté par la soudaine générosité de ses coreligionnaires, oublia son petit sac enfermant un précieux trésor des plus surprenants. Le lendemain, il revint à la mosquée et questionna le gardien s'il n'a pas ramassé un objet qu'il avait égaré par inadvertance. Le mendiant a décrit le sac, mais s'empressa de préciser au gardien qu'il contenait des choses de moindre valeur. Il en revenait plus d'une fois et posa la même question au gardien s'il n'avait ramassé son sac contenant quelques pièces d'argent. Le gardien, très avisé, avait déjà alerté l'imam et celui-ci avait informé quelques fidèles de confiance. Le vieux craqua de perdre sa fortune et dévoila toute son histoire. Selon M. Konaté, son trésor était évalué à 400.000

²⁴ Ismail Rima dans son ouvrage intitulé « La vie du Prophète » souligne la diversité des appellations du dernier pèlerinage du Prophète Mohamed (PBDS). Certains l'ont appelé le pèlerinage

du sermon (Balagh), d'autres l'ont baptisé le pèlerinage d'Adieu Al wida'.

²⁵ Ismail Rima, la vie du Prophète, p.567.

FCFA. Les gens étaient choqués par ce comportement de la part de ce vieux qui a capitalisé tant de fortune, et déçus par son mensonge à la mosquée, en prétendant que sa famille courait le risque de ne pas dîner cette nuit-là.

La deuxième histoire est celle d'une femme qui confessa aux musulmans après la prière de la nuit (Icha) que son enfant était dans un état de santé très lamentable. Elle ajouta qu'elle était très pauvre, car son mari était décédé. Très touchés, les musulmans collectaient de l'argent qu'ils lui offraient sur le champ. Un autre musulman décida d'aller voir l'enfant malade. Il a mis deux sacs de céréales dans son véhicule. La femme commença à paniquer en remerciant le généreux fidèle et lui rassurer que l'état de l'enfant commença à s'améliorer. Malgré ce revirement soudain de la mendicante, l'homme était résolu à aller voir l'enfant. La femme révéla à son compagnon que l'enfant en question était celui qu'elle portait dans ses bras. L'homme très surpris décida de ne pas croire à cette comédie. La femme lui affirmait aussi qu'elle ne logeait pas à Garantibougou, mais plutôt à Banconi. Quelle fut la surprise de l'homme qui ne s'avéra pas vaincu par la stratégie de cette mendicante. Il la conduisit dans sa famille après avoir traversé Bamako de long en large. Un homme vint à leur rencontre et déchargea les deux sacs du véhicule. C'était son mari qu'elle a déclaré décédé. Mon compagnon était horrifié par la cruauté de cette femme. Mon compagnon me révéla plus tard qu'il a appris que l'enfant de la mendicante est mort à la suite d'un accident de la circulation. Peut-être cet accident serait une manifestation de la malédiction maternelle et une sanction divine contre cette méchante femme. Je peux affirmer à partir de ces récits tirés au hasard parmi de milliers que la mendicité d'aujourd'hui est une maladie de la société ». La lecture de ces discours émouvants trouble les âmes bien nées. L'âge et le sexe des mendiants donnent une teneur singulière à la duperie qu'ils traînent avec eux. Le vieux mendiant habillé en guenilles a ramassé une fortune estimée à 400 000 FCFA qui aurait pu lui permettre de mener une activité lucrative et de s'abstenir de parcourir des longues distances qui l'exposent à la fois à la fatigue, aux sauts d'humeurs et à la risée des autres. Sous des habits usés se promène un homme riche devenu dépendant de la mendicité. Quant à la mendicante, son mensonge aggravé par l'imprécation de malheurs sur son époux et sa progéniture montrent à suffisance son cynisme et son caractère pervers. Toutes ces personnes par leurs histoires insolites

défraient la chronique, ternissent l'image de la religion et poussent certains musulmans à ne plus éprouver de la pitié pour les pauvres. La mendicité dans ces deux cas serait une profanation profonde des valeurs cardinales de la société et une dégénérescence de certains adultes qui auraient dû être des modèles pour les plus jeunes enfants.

D'autres récits sur les mendiants laissent voir que certains adultes se muent en véritables arnaqueurs postés aux différents carrefours de la ville de Bamako. C'est ce qui résulte de l'histoire de deux mendiants originaires de la ville de Boni, région de Mopti qui se sont mariés en mendiant et continuent à entretenir leurs familles par la mendicité jusqu'au coup d'État de mars 2012. S.M.L., professeur de mathématiques à la Faculté des sciences et des techniques de Bamako, au cours d'une causerie à la mosquée de Baco-Djicoroni ACI, raconte d'un ton étonné le récit de ces mendiants saisonniers :

J'ai connu deux hommes originaires de Boni situé dans la région de Mopti qui venaient chaque année pour mendier à Bamako. Ils fréquentent mon neveu, blanchisseur de son état à Baco-Djicoroni, près du lycée Soundiata Keita. Ils sont tous deux de l'ethnie peulh. Ils disent rencontrer de nombreuses difficultés dans la mendicité. Leur dernière mésaventure est d'être arbitrairement arrêtée par la police qui les soupçonnait d'être des djihadistes. Ils furent arrêtés et détenus au commissariat du 15^{ème} arrondissement de Bamako. Leur libération a été obtenue grâce à l'intervention de mon neveu.

Ils soutiennent qu'ils sont devenus mendiants pour pouvoir se marier. En effet, dans un humour spécifique aux Peulhs, ils affirment sans détour que les belles femmes de leur contrée sont folles amoureuses des mendiants. Je ne croyais pas à leurs récits qui me paraissent drôles. Mon neveu leur demanda d'aller au bout de leur raisonnement. Un d'entre eux racla la gorge et jura que les femmes peulhs aiment surtout les riches. Mais les riches de leur village sont tous de grands propriétaires de troupeaux, avarés de faire de dépenses larges pour satisfaire leurs épouses. Ils aiment tellement les vaches qu'ils méprisent la beauté de leur épouse. Seuls les mendiants sont capables de combler leurs attentes. C'est pourquoi, ils vont loin pour chercher de l'argent et sont peu soucieux des dépenses. Car aussitôt les fonds épuisés, ils retournent à leur poste, loin du village natal pour épier les riches et les croyants de Bamako.

La laderie pousse les femmes et les hommes à des actes blâmables. Malgré les difficultés rencontrées par les mendiants, ils s'adonnent à la mendicité. Ils répugnent le travail et comptent sur la charité des autres pour satisfaire les besoins de leurs familles. Le manque de modestie dans les dépenses familiales, l'épicurisme exagéré des femmes, et l'amour excessif de l'argent, créent des déviations préjudiciables au savoir vivre ensemble. Toutes ces atteintes à la dignité humaine justifient les menaces de l'islam à l'égard de ceux qui s'adonnent délibérément à la mendicité.

VII. MENDICITE ET DROITS DES ENFANTS AU MALI

L'avènement de la démocratie au Mali en mars 1991 a été accompagné d'une floraison d'organisations de la société civile qui prétendent défendre les droits de l'homme et spécifiquement les enfants classés parmi les couches les plus vulnérables. La création du ministère de la Famille, de la Femme et de l'Enfant, et ses différentes directions de la Promotion de la femme, de la famille et de l'enfant mène un travail intense pour recenser les enfants errants de la ville de Bamako. Il s'agit en fait d'amener le Mali à honorer « l'engagement qu'il a pris au niveau international, qui est la protection de la protection de l'enfant ».²⁶

7.1- La situation des enfants au Mali et aperçu sur la santé des enfants

La situation des enfants et des femmes au Mali soulève des inquiétudes et nécessite de prendre des mesures idoines pour améliorer celle-ci sur les plans sanitaire, nutritionnel, éducatif.

Selon les données statistiques de l'UNICEF (2013)²⁷, la situation sanitaire et nutritionnelle de l'enfant malien est soumise à de rudes épreuves. Elle se caractérise par les disparités suivantes :

- 9,1 millions de maliens de 18 ans sur les 16,7 millions d'habitants,
- 4 enfants sur 5 sont enregistrés à la naissance (2011),
- Un enfant sur deux vit avec moins de 500 FCFA par jour (2010),
- Le taux de mortalité infantile des moins de cinq ans est de 176 pour 1 000 enfants,
- 15% des filles sont mariées avant de 15 ans,
- 660 000 enfants de moins de 5 ans souffrent de malnutrition chronique

7.2- Aperçu sur l'éducation des enfants maliens

Les indicateurs de l'éducation au Mali montrent des grands progrès réalisés dans le domaine de la scolarisation en 2010-2011. Toutefois, le conflit du nord en 2012 constitue une menace réelle la rétention de nombreux enfants à l'école. D'une manière générale, l'UNICEF (2013)²⁸ constate :

- Au moins 1 millions d'enfants sont actuellement hors du système scolaire,
- 2,13 millions d'enfants (1,15 million de garçons et 978 000 filles) étaient inscrits pour l'année scolaire 2010-2011 (81,5%),
- Au nord, le conflit a mis en péril la scolarité de 200 000 enfants qui risquent de quitter définitivement l'école

7.3- Cadre juridique protégeant les enfants

De nombreux textes juridiques nationaux protègent les enfants au Mali. En outre, le Mali a ratifié et a adhéré à plusieurs conventions internationales relatives à la protection et à la défense des droits des enfants et des femmes :

- La charte africaine des droits de l'homme et des peuples, ratifiée en 1981,
- La convention sur l'élimination de toutes les formes de discrimination à l'égard des femmes, ratifiée en 1985,
- Le protocole additionnel aux conventions de Genève du 12 août 1949 relatif à la protection des conflits armés non internationaux (Protocole II), ratifiée en 1989.
- La convention relative aux droits de l'enfant, ratifiée en 1990,
- La charte africaine des droits et du bien-être de l'enfant, ratifiée en 1998,
- La convention n°182 de l'OIT sur les pires formes de travail des enfants, ratifiée en 1999,
- Protocole facultatif à la convention relative aux droits de l'enfant, concernant l'implication d'enfants dans les conflits armés, ratifiée en 2002,
- Décret n°99-157/PM-RM de 1999 portant sur la création du comité national d'action pour l'éradication des pratiques néfastes à la santé de la femme et de l'enfant,
- Décret n°156 PM-RM de 1999 portant sur la création du comité interministériel pour la promotion de la femme, de l'enfant et de la famille,

²⁶ Actes-séminaires-inter-municipalités_VF_20140707.pdf- Adobe Reader

²⁷ UNICEF, 2013, Situation des enfants et femmes au Mali, Bamako, Mali.

²⁸ UNICEF, 2013, Situation des enfants et femmes au Mali, Bamako, Mali.

- Loi n°01-081 de 2001 relative à la responsabilité pénale des mineurs et à la création de tribunaux pour enfants,
- Loi n°4-04-004 de 2004 portant sur la création du centre national de documentation et d'information sur la femme et l'enfant,
- Décret n°06-06-118/P P-RM de 2006 fixant les détails des attributions du délégué à la protection de l'enfance,
- Arrêté n°06-06-1940 MPFEF-SG de 2006 portant sur la création du comité national de suivi des programmes de lutte contre la traite des enfants au Mali.

En dépit des efforts déployés par l'Etat, à travers ses services techniques pour venir en aide aux plus pauvres, la mendicité s'accroît de façon exponentielle. Les carrefours, l'ombre des mosquées sont devenus des refuges pour les mendiants. Les familles, les services, les marchés sont envahis par eux. Toutes ces personnes en détresse méritent assistance et compassion, mais surtout une réforme de leur mentalité. Aussi, les imams des mosquées, les décideurs politiques, les parents et les services spécialisés, les partenaires impliqués dans la protection des droits humains, dans un débat fécond et pragmatique, pourront s'appuyer sur les expériences tirées du Coran, des hadiths, des rois maliens, de l'hospitalité africaine pour donner une réponse adaptée aux contours de la mendicité.

Au terme de cette analyse, nous remarquons que la mendicité est une souillure et une atteinte grave aux droits de l'homme en général, et de l'enfant en particulier. Elle a été gérée dans la société malienne par de nombreuses stratégies : l'hospitalité, l'entraide, la compassion. Dans le cadre restreint de l'empire peulh de Hamdallaye, la mendicité a été domptée après moult débats au parlement et érigé en moyen d'éducation pour fléchir les élèves coraniques à l'humilité. L'humanisme malien et les prescriptions islamiques semblent inopérants pour contenir la mendicité à cause de l'éclatement des cellules traditionnelles d'éducation (famille, école, etc.), de la course à la richesse, au capitalisme mondial vecteur de nombreuses inégalités sociales. Hier perçue comme une préparation de l'enfant à la simplicité, la mendicité demeure aujourd'hui en véritable fléau qui secoue les bases de nos institutions éducatives. Aussi, il est impérieux de s'interroger si les politiques éducatives et sociales du Mali, à travers les multiples réformes et innovations du système éducatif, l'aide sociale proposent-elles des alternatives toujours

inappropriées pour maîtriser l'expansion de la mendicité ?

REFERENCES

- [1] Al-Djazaïri A.B.D., 2004, *La voie du musulman (Minhaj Al-Mouslim)*, nouvelle édition augmentée. Traduit par Rima Ismael et revu par Harkat Ahmad, Dar el Fiker, Beyrouth, Liban.
- [2] Ba A.H., Daget J., 1984, *L'empire Peul du Macina (1818-1853)*, Les Nouvelles Éditions Africaines, Éditions de l'École des Hautes Études en Sciences Sociales, Abidjan, Côte d'Ivoire.
- [3] Béidi B.H., 1993, *Les Peuls du Dallol Bosso. Coutumes et mode de vie*, Édition Sépia.
- [4] Ben Kathir A-F.I., 2001, *Les histoires des prophètes*, traduit par Noura Chaaban Issa et revu par Fawzi Chaaban, Dar El Fiker, Beyrouth, Liban.
- [5] Chab F., 2008, *Recueils des textes législatifs « poche ». Code pénal selon les dernières modifications (B.O. n° 5522 du 3/5/2007. Section V : De la mendicité et du vagabondage.*
- [6] Coran : Sourate 93 : verset 10.
- [7] Coran : Sourate 107 : versets 1, 2, 3.
- [8] Gülen M. Fethullah, 2012, *Une analyse de la vie du Prophète Mohamed : Le message de Dieu*, Neuvième édition, Édition du Nil, USA.
- [9] Ismail R., 2002, *La vie du Prophète (Que Dieu lui accorde sa grâce et sa paix)*, éditions Dar el Fiker, Beyrouth, Liban.
- [10] Pichonnat L., 2012, *Faut-il interdire la mendicité* avec le soutien de la Loterie Romande, document consulté sur www.jugendebattiert.ch/bausteine.../fiche-argumentarie-mendicite
- [11] <http://www.afribonemali.net/spip.php?article12986> : Problématique de la mendicité des enfants au Mali. Cet article publié sur [afribone.com](http://www.afribone.com) (tiré de L'Indépendant) a été consulté le 14/9/2015.
- [12] UNICEF, 2013, *Situation des enfants et femmes au Mali*, Bamako, Mali.
- [13] République du Mali, Code pénal : *Loi n°61-99AN du 3 Août 1961, Section X : Paragraphe III : Mendicité, Paragraphe IV : Dispositions communes aux vagabonds et aux mendiants*. Code pénal du Mali.Pdf-Adobe Reader.
- [14] République du Congo, 2014, *Séminaire inter-municipalités « agir contre l'exclusion sociale en milieu urbain » les 30 et 31 janvier*

à *Pointe-Noire*, Samusocial International.
Actes-séminaires-inter-

municipalités_VF_20140707.PDF-Adobe
Reader.

Attitude des parents d'élèves de Bamako face à l'utilisation des langues nationales dans l'enseignement fondamental malien

Seydou LOUA

Université des Lettres et des Sciences Humaines de Bamako
Faculté des Sciences Humaines et des Sciences de l'éducation

Adresse de correspondance : seydouloua@yahoo.fr

RESUME: La réforme de l'enseignement malien de 1962 a touché à la structure, aux objectifs et aux contenus du système éducatif. Cependant le médium principal d'enseignement est resté la langue française qui est aussi la langue officielle du pays. La réforme avait prévu l'utilisation des langues nationales dans l'enseignement une fois les conditions réunies, car elle voulait entre autres, donner un enseignement de qualité, mettre en valeur la culture malienne et décoloniser les esprits. La langue étant l'un des principaux éléments de la culture et de l'identité devait être mise en valeur pour l'atteinte de ces objectifs.

L'utilisation des langues nationales dans l'enseignement fondamental malien a commencé avec une expérimentation en 1979, devenue pédagogie convergente en 1987. Elle s'est développée grâce au Programme Décennal de Développement de l'Education en 1998, et continue actuellement avec le curriculum de l'enseignement fondamental qui utilise 11 langues nationales qui sont le bambara, fulfulde, songhay, tamasheq, dogon, soninké, bobo, sénoufo, bozo, minianka et khassonké. Beaucoup d'études ont été réalisées sur l'utilisation des langues nationales dans l'enseignement fondamental malien, notamment en ce qui concerne l'attitude des enseignants, son importance, etc., et ont abouti à des résultats contradictoires. Dans cet article nous nous intéressons aux attitudes des parents d'élèves de Bamako sur la question. Nous nous posons les questions suivantes : Quelles attitudes les parents d'élèves de Bamako ont-ils face à l'utilisation des langues nationales dans l'enseignement ? Quel est le degré d'adhésion et d'acceptation des parents concernant l'utilisation des langues nationales dans l'enseignement ? L'objectif du travail est d'expliquer l'attitude des parents d'élèves au sujet de cette innovation car nous postulons qu'ils y sont majoritairement défavorables.

ABSTRACT: The reform of the Malian education in 1962 has affected the structure, objectives, and contents of the education system. However the main medium of instruction has remained the French language is the official language. The reform foresaw the use of national languages in education once the conditions were met because it wanted among other things, to provide quality education, develop Malian culture and decolonize the minds. Language being one of the main elements of the culture and identity should be enhanced to achieve these goals.

The use of national languages in Malian basic education began with an experiment in 1979, became convergent pedagogy in 1987. It developed through the Ten-Year Programme of Development of Education in 1998, and now continues with the curriculum basic education using 11 national languages: Bambara, Fulfulde, Songhay, Tamasheq, Dogon, Soninke, Bobo, Senoufo, Bozo, Minianka and Khassonke. Many studies have been conducted on the use of national languages in Malian basic education, particularly as regards the attitude of teachers, importance, etc., and have yielded conflicting results. In this paper we focus on the attitudes of Bamako students parents on the issue. We ask ourselves the following questions : What attitudes of Bamako students parents have regarding the use of national languages in teaching ? What is the degree of support and acceptance of parents regarding the use of national languages in education? The aim of the work is to explain the attitude of parents about this innovation because we assume they are mostly unfavorable.

I. INTRODUCTION

Le Mali est un pays francophone d'Afrique de l'Ouest qui, comme les autres colonies françaises d'Afrique, utilise la langue française comme médium principal d'enseignement de l'époque coloniale jusqu'à nos jours. Les Etats africains n'ont pas su profiter de l'indépendance pour apporter une modification au niveau du médium d'enseignement en remplaçant le français par une langue nationale. La réforme de l'enseignement malien de 1962 a touché à la structure, aux objectifs, aux contenus du système éducatif malien. Cependant le médium

principal d'enseignement est resté la langue française qui est aussi la langue officielle du pays. La réforme avait prévu l'utilisation des langues nationales dans l'enseignement une fois les conditions réunies, car elle voulait entre autres, donner un enseignement de qualité, garantir un bon niveau culturel, mettre en valeur la culture malienne et décoloniser les esprits. La langue étant l'un des principaux éléments de la culture et de l'identité devait être mis en valeur pour l'atteinte de ces objectifs.

II. PROBLÉMATIQUE

L'éducation est un secteur assez vaste qui intéresse tous les citoyens, acteurs, partenaires, bénéficiaires, politiques, etc. Ce vaste secteur, pour qu'il ne soit pas laissé à la dérive doit être géré, avoir des visions, des projets, de la part de tout citoyen, et singulièrement des autorités politiques. La politique d'éducation qui est la prise en charge par l'Etat des questions relatives à l'éducation à travers des décisions prises par anticipation dans le but d'indiquer les attentes de la société dans le domaine de l'éducation, joue un rôle assez important dans la gestion de ce vaste secteur. L'élaboration des politiques éducatives implique la participation des politiciens, des planificateurs, des administrateurs scolaires, des partenaires et acteurs comme les groupes sociaux, les parents d'élèves, les organismes œuvrant dans le domaine de l'éducation. Elle passe par le diagnostic du système, l'analyse du contexte, la détermination des finalités, des objectifs et la mise en place des stratégies, la prévision des coûts, d'éventuels obstacles, le suivi-évaluation, etc. La volonté et l'engagement politique ont une importance capitale dans le développement du système éducatif.

Avant l'indépendance du Mali, l'école coloniale avait des objectifs qui allaient à l'encontre des besoins de la population malienne. Selon Abdou Moumouni²⁹, « l'enseignement hérité de la colonisation visait essentiellement à produire le personnel nécessaire à la bonne marche de l'administration : commis, instituteurs, moniteurs, employés de commerce et des ouvriers des différentes spécialités. Un des buts de cet enseignement était la diffusion de la langue française sans se préoccuper de la formation des cadres, de la conservation des valeurs intellectuelles et morales de la société africaine. » Cette affirmation est illustrée par cette phrase du Général Bertrand Clozel³⁰ en 1917, « le premier résultat à obtenir de l'enseignement que nous donnons dans les colonies doit être un résultat d'utilité pratique pour nous d'abord, pour nos indigènes ensuite. »

Après l'indépendance du Mali en 1960, il s'est fait alors sentir la nécessité absolue et l'urgence de réviser entièrement le contenu et les buts du système éducatif afin de créer un système d'éducation qui répondrait aux attentes et aux réalités du Mali. De 1960 à nos jours, plusieurs réformes et innovations ont été entreprises par les autorités politiques et scolaires du pays pour une révision, une réadaptation permanente du système éducatif en fonction de l'évolution du monde et de la société malienne. Sans être exhaustif, nous pouvons citer la réforme de 1962, la Nouvelle Ecole Fondamentale, le Programme Décennal de

Développement de l'Education, l'introduction des langues nationales dans l'enseignement formel concomitamment avec le français, la réforme du lycée, le système LMD, etc.

Dans cet article nous nous intéressons à l'attitude des parents d'élèves de Bamako face à l'utilisation des langues nationales dans l'enseignement fondamental malien. Nous nous posons les questions suivantes : quelles sont les raisons de cette innovation ? Comment est-elle appliquée actuellement ? Quelles attitudes les parents d'élèves de Bamako ont-ils face à l'utilisation des langues nationales dans l'enseignement ? Quel est le degré d'adhésion et d'acceptation des parents concernant l'utilisation des langues nationales dans l'enseignement ?

Beaucoup d'études ont été réalisées sur l'utilisation des langues nationales dans l'enseignement, notamment celle de Diarra en 1983 qui a conclu que les populations rejetaient l'expérience d'utilisation des langues nationales dans l'enseignement, celle de Haidara en 2000 qui a conclu que les enseignants étaient plutôt favorables, celle de Doumbia en 2000 qui reconnaît l'utilité des langues nationales dans le processus d'apprentissage pour un enfant, celle de Lietti Anna en 2006 qui stipule que la réussite de l'enseignement bilingue dépend aussi du rôle que la famille joue en terme d'accompagnement scolaire, celle de la CONFEMEN en 2007 sur l'intérêt et l'importance des langues nationales dans l'enseignement notamment au Niger et au Burkina, celle de Duvergne en 2009 qui se pose des questions sur l'importance du choix de la seconde langue, le moment propice pour la mise en place du bilinguisme, le contenu du programme, le matériel à utiliser, celle de Diarra en 2016 sur l'impact de l'enseignement bilingue sur le rendement des élèves du premier cycle de l'enseignement fondamental de *Massantola*.

Les différentes études qui ont abouties à des résultats contradictoires, nous ont poussés à nous intéresser à l'attitude des parents d'élèves sur la même question. Les sentiments de parents doivent être considérés dans les prises de décisions en ce qui concerne la scolarité des enfants surtout concernant une innovation aussi majeure que l'utilisation des langues nationales dans l'enseignement fondamental. L'objectif de l'étude est de dégager l'attitude des parents d'élèves de Bamako face à l'utilisation des langues nationales dans l'enseignement fondamental. Ce qui nous conduit à notre question de recherche à savoir quelle est l'attitude des parents d'élèves face à l'utilisation des langues nationales dans l'enseignement fondamental ? Notre hypothèse principale stipule

²⁹ Moumouni Abdou 1998. L'éducation en Afrique. Editions Présence Africaine. P 46-75.

³⁰ Clozel Bertrand. Gouverneur général. Cité par Pierre Erny 2001. Essai sur l'éducation en Afrique noire, Edition Africaine, Harmattan. P 49.

que les parents ne sont pas favorables à l'utilisation des langues nationales dans l'enseignement. Cette attitude défavorable est surtout liée à l'ethnie des parents, leur niveau d'instruction, d'information et au niveau d'études faible des enfants.

Notre intérêt pour les politiques éducatives en général et pour les langues nationales en particulier découle de notre expérience d'enseignant, de la baisse constatée de niveau actuel des élèves et étudiants. Nous essayons d'établir un parallèle entre cette utilisation des langues nationales et cette baisse de niveau généralisée des élèves et étudiants en français. En effet, malgré l'existence des résultats d'études favorables, des expériences réussies, et notre propre conviction que l'enfant apprend et comprend mieux dans sa langue maternelle, nous sommes aussi convaincus que la baisse de niveau actuelle peut avoir comme facteur l'application des langues nationales dans l'enseignement. Nous partons du postulat que la langue nationale en soi ne constitue pas un problème, tout au contraire, mais son application avec des difficultés, des insuffisances, le nombre de langues, la formation des enseignants, etc., peut être un facteur de baisse de niveau. Raison pour laquelle nous tentons de vérifier l'attitude des parents d'élèves sur la question.

1. Historique et évolution de l'utilisation des langues nationales dans l'enseignement fondamental malien

L'utilisation des langues nationales dans l'enseignement fondamental malien tire sa source de la réforme de 1962 qui l'avait prévu dès que les conditions auraient été favorables. Le deuxième séminaire national sur l'éducation, tenu à Bamako en 1978 a donc proposé l'expérimentation des langues nationales dans l'enseignement formel concomitamment avec le français. Cette proposition avait comme objectifs de lier d'avantage l'école à la vie, de faciliter l'apprentissage des disciplines comme l'écriture, la lecture et les mathématiques, de valoriser les langues locales et la culture, d'améliorer le rendement scolaire.

L'expérimentation a commencé avec la langue bambara en 1979 dans quatre écoles dites expérimentales dont deux dans la région de Koulikoro (Kossa et Djifina) et deux dans la région de Ségou (Banankoroni et Zanabougou). A partir de 1982, trois autres langues nationales ont été introduites à savoir le songhoy et le tamasheq dans les régions de Gao, Tombouctou et Kidal, et le Fulfulde dans la région de Mopti. Dans ces écoles, les cours étaient dispensés en langues nationales avec les mêmes méthodes pédagogiques utilisées dans l'enseignement dans la langue française. Il n'existait pas une méthode pédagogique appropriée et de matériels didactiques suffisants pour l'utilisation des langues nationales. Selon Samba Traoré « l'utilisation des langues nationales dans l'enseignement formel a enregistré des résultats

positifs, mais aussi des difficultés lors de la transition entre la langue maternelle et le français. Des études ont d'ailleurs montré une baisse de la performance des élèves à cette phase. ». Pour améliorer la situation, le Mali s'est donc mis à la recherche d'une méthode pédagogique appropriée à l'utilisation des langues nationales dans l'enseignement. Du 19 novembre au 04 décembre 1984, un stage pourtant sur l'enseignement du français et des langues nationales en milieu multilingue, a été organisé par le Centre International Audiovisuel d'Etudes et de Recherches (CIAVER) à Saint Ghislain en Belgique à la demande de l'Agence de Coopération Culturelle et Technique (A.C.C.T.). Pendant la rencontre le Mali était représenté par une délégation à la recherche de solutions aux difficultés de sa méthode d'enseignement en langues nationales. L'ACCT et le CIAVER ont élaboré un projet d'expérimentation de cette nouvelle méthode d'enseignement des langues à l'école fondamentale à la demande des responsables du Ministère de l'Education Nationale du Mali. Les autorités ont donc procédé, en 1987, à la mise en place d'une pédagogie appropriée appelée « **Pédagogie Convergente** », qui tient compte des connaissances de l'enfant dans sa langue maternelle aux débuts des apprentissages. Selon Samba Traoré « la pédagogie convergente est une approche novatrice d'apprentissage des langues dans des contextes bi ou multilingues avec pour objectif de développer un bilinguisme fonctionnel chez l'apprenant. ». C'est donc une méthode active d'apprentissage des langues dans un système formel. La méthode a été développée en Belgique par le Centre International Audiovisuel d'Etudes et de Recherche, elle a été introduite au Mali en 1987 après l'expérimentation des langues nationales dans l'enseignement formel. Toujours selon Samba Traoré « la méthodologie a amélioré les performances des élèves des classes expérimentales par rapport à ceux qui fréquentaient l'école classique. ». Selon Joseph Poth, en 1977 dans « l'enseignement d'une langue maternelle et d'une langue non maternelle », « c'est la langue maternelle qui garantit le décollage intellectuel de l'enfant dès le début de la scolarité. C'est la langue qui lui fournit la possibilité de verbaliser sa pensée et de s'intégrer harmonieusement dans le monde qui l'environne. Oui, l'enfant est à l'aise dans sa langue maternelle comme dans les bras de sa mère et en lui refusant la possibilité d'utiliser le support linguistique familier apte à répondre à son besoin fondamental d'expression et de créativité, l'école le place du même coup en situation de régression. ». L'école serait donc à l'origine de l'échec scolaire si elle utilise comme medium une langue autre que la langue maternelle des enfants scolarisés. L'auteur avance là un point de vue qui peut se défendre, cependant, nous pensons que beaucoup d'autres

facteurs importants peuvent expliquer l'échec scolaire.

L'innovation a connu ses premières heures à Bamako à partir de 1985 avec deux classes en langue nationale bambara. En 1991, le Mali comptait environ 108 écoles dans lesquelles quatre langues nationales étaient utilisées. En 2001, la méthode était appliquée dans 345 écoles et concernait environ 45.000 élèves. L'innovation pédagogie convergente a été remplacée par le Curriculum de l'enseignement fondamental qui est sa suite logique à partir de 2002.

- **La méthodologie d'application actuelle des langues nationales dans l'enseignement**

Selon la loi n°96-049 du 23 août 1996³¹ portant sur la modalité de promotion des 13 langues nationales, celles-ci jouissent des mêmes droits dans le respect des diversités culturelles et de l'unité nationale. Cette loi stipule que « l'Etat reconnaît aux collectivités et aux citoyens le droit d'initier ou de participer à des actions de promotion des langues nationales à travers des actions culturelles, scientifiques et techniques dans le cadre du respect de la réglementation en vigueur. »³². C'est avec le Programme Décennal de Développement de l'Education (PRODEC)³³ mis en place en 1998, que le Mali va entamer une nouvelle réforme de son système éducatif à travers l'approche curriculaire par compétences afin d'améliorer la qualité du système éducatif. La Loi n°99-046 du 28 décembre 1999 portant loi d'orientation sur l'éducation définit dans son article 3 le curriculum comme étant l'ensemble des dispositifs (finalités, programmes, emplois du temps, matériels didactiques, méthodes pédagogiques, modes d'évaluation) qui, dans le système scolaire et universitaire, permet d'assurer la formation des apprenants. Le curriculum intègre les besoins éducatifs fondamentaux des apprenants en impliquant les communautés dans la définition de ces besoins et la détermination des contenus d'apprentissage afin de mieux lier l'école à la vie. Bonaventure Maiga, Youssouf Konandji et Bakary Samaké³⁴ en 2012, expliquent que « le curriculum de l'enseignement fondamental a été mis à l'essai à partir de 2002. Plusieurs évaluations ont été faites et ont été soumises au forum national sur le curriculum de l'enseignement fondamental organisé en mars 2008. Les conclusions de ce forum qui ont souligné les difficultés, les acquis et les nouvelles orientations ont été examinées par le Forum National sur l'Education tenu les 30 et 31 octobre et les 1^{er} et 2 novembre 2008. » Dans le même document, ils expliquent que « la mise en œuvre du curriculum est

conjointement assurée par le Centre National de l'Education (CNE), chargé de la responsabilité, de la conception et de la mise à l'essai, et d'autres parts la Direction Nationale de l'Education de Base (DNEB), chargée de sa mise en œuvre avec l'appui des Partenaires Techniques et Financiers dans le cadre du Programme d'Investissement Sectoriel de l'Education (PISE). Le dispositif de suivi-évaluation comprend une supervision et coordination par le niveau central ; et des délégations de suivi accordées aux académies et à l'ONG World Education dans cinq régions dont Koulikoro, Sikasso, Ségou, Gao et Kidal en début de l'année scolaire 2005-2006. ». Le 5^{ème} axe prioritaire du PRODEC qui est « Une utilisation des langues nationales dans l'enseignement formel concomitamment avec le français » rejoint l'une des recommandations du forum national sur l'éducation tenu en 2008 qui stipulait que « la convergence des langues nationales et du français dans le processus d'apprentissage jusqu'au lycée, dans les écoles publiques et privées ».

Le curriculum qui est donc la suite logique de la pédagogie convergente a été mis en essai en 2002 comme indiqué plus haut, dans 80 écoles à pédagogie convergente (P.C.). Le niveau I (1^{ère} et 2^{ème} année) du curriculum a connu un début de généralisation en octobre 2005 sur 2550 écoles dont toutes les écoles à P.C. et 500 écoles classiques dans 11 langues nationales que sont le bambara, le peulh, le songhoi, le tamasheq, le dogosso, le soninké, le bomu, le sénoufo, le bozo, le minianka et le khassonké. Dans l'esprit du curriculum malien, l'accueil des enfants en 1^{ère} année se fait en langue nationale et si possible maternelle, ainsi que l'essentiel de la première année. On commence à apprendre à lire et à écrire. Le français est introduit dès la 1^{ère} année sous forme orale comme langue de communication scolaire et sociale, avec des techniques pouvant être inspirées par le français langue seconde. En deuxième année, on consolide l'apprentissage de l'écrit en langue nationale, et on apprend à lire et écrire en français, tout en maintenant un entraînement à l'oral de type français langue seconde. A partir de la troisième année, l'enseignement de la langue nationale comme matière doit se poursuivre jusqu'en neuvième année et doit être obligatoire pour tous (y compris les écoles privées).

Pour que le curriculum soit bien exécuté, il est nécessaire d'en avoir les bonnes ressources éducatives disponibles. Outre la relecture du

³¹ Loi n°96-049 du 23 août 1996 portant modalité de promotion des langues nationales.

³² Loi n°96-049 du 23 août 1996. *Idem*.

³³ PRODEC (2000). PRODEC: les grandes orientations de la politique éducative.

³⁴ Samaké Bakary, Konandji Youssouf, Maiga Bonaventure (2012). Etude relative aux réformes en

cours des systèmes nationaux d'éducation et/ou de formation : les réformes curriculaires en éducation, l'expérience malienne. Burkina Faso/Ouagadougou/Association pour le développement de l'éducation en Afrique.

curriculum et la dotation des écoles en manuels, une des mesures immédiates recommandées par le forum sur l'éducation en 2008 réside dans la formation des enseignants à travers des sessions organisées par les Centres d'Animation Pédagogiques et les Académies.

III. MÉTHODOLOGIE DE TRAVAIL

Nous avons choisi Bamako car c'est la capitale et c'est l'une des villes où se côtoient toutes les ethnies du Mali. En outre, étant enseignant à l'université des Lettres et des Sciences Humaines de Bamako, c'est notre lieu d'habitation et de travail. Avec plus de 3 000 000 d'habitants, Bamako compte 6 communes et 66 quartiers réparties sur une superficie de 2 992 km².

- Méthode et outil d'enquête

Nous avons utilisé la méthode quantitative avec le questionnaire comme outil d'enquête. Après l'identification de l'enquêté, le questionnaire adressé aux parents d'élèves de Bamako contenait des questions fermées, mixtes et à choix multiples. L'enquête sur le terrain a duré une semaine.

- Caractéristiques de l'échantillon

Nous avons constitué un échantillon composé de 144 parents d'élèves dont 95 hommes et 45 Femmes âgés de 31 à 68 ans. Cet échantillon est

réparti dans les 6 communes du District de Bamako en raison de 2 quartiers par commune et de 12 parents par quartier. Les deux quartiers par commune ont été sélectionnés par tirage aléatoire pour plus de représentativité. Les parents d'élèves ont été choisis au hasard sans tirage au sort en fonction de leur disponibilité. Les quartiers sont répartis comme suit :

Tableau n°1 : Répartition des quartiers

Communes	Quartier 1	Quartier 2
Commune I	Boukassoumougou	Sikoroni
Commune II	Hippodrome	Niarela
Commune III	Bamako Coura	Bolibana
Commune IV	Lafiabougou	Sébénicoro
Commune V	Badalabougou	Magnamboougou
Commune VI	Yirimadio	Sogoniko

Dans ce tableau nous faisons une répartition des quartiers sélectionnés comme échantillon. Nous avons deux quartiers par commune, ce qui fait un total de 12 quartiers.

Tableau n°2: Répartition de parents selon leur niveau d'instruction

Genre / Niveau d'instruction	Homme	%	Femmes	%	Total	%
Analphabète	30	71,43%	12	28,57%	42	100%
1 ^{er} cycle	15	65,22%	8	34,78%	23	100%
Second cycle	18	64,29%	10	35,71%	28	100%
Lycée	15	57,70%	11	42,30%	26	100%
Supérieur	17	68%	8	32%	25	100%
Total	95	65,97%	49	34,03%	144	100%

Dans ce tableau nous avons une répartition des parents d'élèves selon le niveau d'instruction. Les parents analphabètes représentent la plus grande proportion avec 29,17 %, les parents ayant un niveau premier cycle représentent 15,98 %, les parents

ayant le niveau second cycle représentent 19,44 %, les parents ayant le niveau du lycée représentent 18,05 %, les parents ayant le niveau d'études supérieures représentent 17,36 %.

Tableau n°3 : Répartition des parents d'élèves selon l'ethnie

Genre / Ethnie	Homme	%	Femme	%	Total	%
Peulh	16	61,54%	10	38,46%	26	100%
Malinké	18	64,29%	10	35,71%	28	100%
Bambara	20	57,14%	15	42,86%	35	100%
Sarakolé	10	58,82%	7	41,18%	17	100%
Minianka	11	100%	0	0%	11	100%
Bobo	10	90,91%	1	9,09%	11	100%
Songhay	2	40%	3	60%	5	100%
Dogon	1	100%	0	0%	1	100%
Sénoufo	7	70%	3	30%	10	100%
Total	95	65,97	49	34,03	144	100%

Dans ce tableau nous avons la répartition des parents d'élèves selon l'ethnie. L'ethnie bambara représente

la plus grande proportion avec 24,31%, suivi de l'ethnie malinké avec 19,44 % et de l'ethnie peulh avec 18,05 %.

2. Attitude des parents d'élèves face à l'utilisation des langues nationales dans l'enseignement fondamental

Tableau n°4 : Connaissance des parents sur l'utilisation d'une langue nationale à l'école de leurs enfants avant leur inscription

Opinions / Genre	Oui	%	Non	%	Total	%
Homme	25	26,32%	70	73,68%	95	100%
Femme	15	30,61%	34	69,39%	49	100%
Total	40	27,78%	104	72,22%	144	100%

Sur les 144 parents d'élèves, 104 dont 72,22% affirment n'avoir pas été informés sur l'utilisation d'une langue nationale à l'école de leurs enfants avant leur inscription. Dans ce chiffre, certains parents ont des enfants dans des écoles privées qui n'utilisent pas de langues nationales dans leur enseignement.

Ceux qui ont été informés affirment en majorité n'avoir pas eu le choix car ils ont scolarisé leurs enfants à l'école la plus proche de leur lieu d'habitation car n'ayant pas les moyens financiers pour les inscrire dans des écoles privées ou dans les écoles publiques loin de leur lieu d'habitation.

Tableau n°5 : Attitude des parents face à l'utilisation de langues nationales dans l'enseignement (opinions selon l'ethnie)

Opinions / Ethnie	Favorable	%	Défavorable	%	Total	%
Peulh	11	42,31	15	57,69%	26	100%
Malinké	8	28,57%	20	71,43%	28	100%
Bambara	16	45,71	19	54,29%	35	100%
Sarakolé	0	0%	17	100%	17	100%
Minianka	1	9,09%	10	90,91%	11	100%
Bobo	0	0%	11	100%	11	100%
Songhay	0	0%	5	100%	5	100%
Dogon	0	0%	1	100%	1	100%
Sénoufo	0	0%	10	100%	10	100%
Total	36	25%	108	75%	144	100%

Ce tableau fait ressortir l'attitude des parents (selon l'ethnie) en ce qui concerne leur niveau d'acceptation de l'utilisation de langues nationales dans l'enseignement fondamental. Nous constatons que dans l'ensemble ils y sont majoritairement contre avec 75% d'opinions défavorables. La langue nationale utilisée dans les écoles fondamentales à Bamako est le bambara encore appelé le mand le *Mandenkakan* (*Mandenkakan*). Certains parents sont contre en avançant des arguments qu'ils ne conçoivent pas que leurs enfants apprennent dans une autre langue nationale que la leur. En effet, nous constatons que les parents d'élèves de certaines ethnies, notamment les Bobo, les Songhay, les Dogon et les Sénoufo sont tous défavorables. Certains se disent défavorables car la langue nationale utilisée dans les écoles à

Bamako n'est pas leur langue maternelle, ce qui pose le problème du nombre de langues utilisées dans le pays et l'acceptation des parents à inscrire leurs enfants dans des écoles qui utilisent autre langue que la leur.

Le test du Khi deux de Pearson calculé montre qu'il existe un lien statistiquement significatif entre l'ethnie et l'opinion des parents d'élèves. Le khi deux calculé est de 7, donc supérieur au seuil de probabilité qui est de 0,05, avec un degré de liberté (ddl) de 2. Ce résultat nous montre que plus l'ethnie se sent proche de la langue nationale utilisée à l'école, plus elle est favorable à son application. Ce résultat corrobore une de nos hypothèses secondaires qui stipule que l'attitude du parent dépend de son ethnie.

Tableau n°6 : Attitude des parents face à l'utilisation de langues nationales dans l'enseignement (opinions selon le niveau d'instruction)

Opinions / Niveau d'instruction	Favorable	%	Défavorable	%	Non réponse	%	Total	%
Analphabète	25	59,52%	15	35,71%	2	4,77%	42	100%
1 ^{er} cycle	8	34,78%	11	47,83%	4	17,39%	23	100%
Second cycle	9	32,14%	19	67,86%	0	0%	28	100%
Lycée	2	7,69%	24	92,31%	0	0%	26	100%
Supérieur	1	4%	24	96%	0	0%	25	100%
Total	45	31,25%	93	64,58%	6	4,17%	144	100%

Ce tableau fait ressortir l'attitude des parents (selon le niveau d'instruction) en ce qui concerne leur acceptation de l'utilisation de langues nationales dans l'enseignement fondamental malien. Nous constatons que dans l'ensemble la tendance défavorable se dégage avec 64,58 %. Cependant le degré d'acceptation varie selon le niveau d'instruction des parents comme stipulait nos hypothèses secondaires.

Le test du khi deux de Pearson calculé montre qu'il existe un lien statistiquement significatif entre le niveau d'instruction et l'attitude des parents comme stipule notre seconde hypothèse secondaire. Le khi deux calculé est de 1,17 avec un degré de liberté (ddl) de 4. En effet, plus les parents sont instruits, moins ils sont favorables à l'utilisation des langues nationales dans l'enseignement fondamental. Parmi

les parents d'élèves, 96 % de ceux qui ont un niveau d'études supérieures, 92 % de ceux qui ont un niveau d'études secondaires, 67,86 % de ceux qui ont un niveau d'études du second cycle sont défavorables. Les parents d'élèves analphabètes sont favorables à 59,52 %.

Les parents d'élèves défavorables avancent des arguments sur la baisse de niveau des élèves en français, l'insuffisance de formation continue des enseignants, l'importance des langues nationales sur le plan international, le nombre de langues utilisées et la mauvaise application du curriculum de l'enseignement fondamental. Les parents d'élèves favorables, tout niveau d'instruction confondu, parlent de la valorisation de la culture malienne à travers l'enseignement dans les langues nationales.

Tableau n°7 : Capacité de lecture et d'écriture de la langue nationale par les enfants

Opinions / Ethnie	Oui	%	Non	%	Total	%
Peulh	0	0%	26	100%	26	100%
Malinké	0	0%	28	100%	28	100%
Bambara	0	0%	35	100%	35	100%
Sarakolé	0	0%	17	100%	17	100%
Minianka	0	0%	11	100%	11	100%
Bobo	0	0%	11	100%	11	100%
Songhay	0	0%	5	100%	5	100%
Dogon	0	0%	1	100%	1	100%
Sénoufo	0	0%	10	100%	10	100%
Total	0	0%	144	100%	144	100%

A ce niveau, comme indiqué dans le tableau ci-dessus, les parents d'élèves, tout niveau d'instruction et ethnie confondus confirment que leurs enfants ne savent ni écrire ni lire correctement la langue nationale utilisée comme médium d'enseignement dans leur école. Cela s'explique par le fait que la

langue nationale est la seule langue d'enseignement seulement en première année, car le français devient seconde langue en deuxième année et le principal médium d'enseignement en sixième année.

Tableau n°8 : Impact négatif de la langue nationale sur le niveau des élèves en français au second cycle

Opinions / Niveau d'instruction	Oui	%	Non	%	Non réponse	%	Total	%
Analphabète	5	11,90%	2	4,77%	35	83,33%	42	100%
1 ^{er} cycle	10	43,48%	2	8,70%	11	47,82%	23	100%
Second cycle	20	71,43%	8	28,57%	0	0%	28	100%
Lycée	20	76,92%	4	15,38%	2	7,70%	26	100%
Supérieur	24	96%	1	4%	0	0%	25	100%
Total	79	54,86%	17	11,81%	48	33,33%	144	100%

Dans le tableau ci-dessus les parents affirment à 54,86 % que l'utilisation des langues nationales a un impact négatif sur le niveau des élèves en français au second cycle. Cependant, par rapport à cette question, 48 parents dont 33,33 % n'ont pas donné

de réponse car tous les parents n'ont pas d'enfants au second cycle et les parents analphabètes disent qu'ils ignorent cette réalité. Sur les 42 parents analphabètes, 35 d'où 83,33% n'ont pas répondu à la question.

Tableau n°9: Capacité d'écriture et de lecture correctement en français des élèves du second cycle (opinions des parents ayant des enfants au second cycle)

Opinions / Genre	Oui	%	Non	%	Total	%
Homme	20	31,25%	44	68,75%	64	100%
Femme	8	25%	24	75%	32	100%
Total	28	29,17%	68	70,83%	96	100%

Sur la même question concernant la capacité de d'écriture et de lecture en français des élèves du second cycle, 70,83% des 96 parents ayant des enfants au second cycle affirment que leurs enfants ne savent ni écrire ni lire correctement en français. L'utilisation des langues nationales dans l'enseignement fondamental qui peut être considérée comme un des facteurs explicatifs de la baisse de niveau des élèves en français, n'est cependant pas le seul. A ce niveau le test du khi deux de Pearson calculé montre qu'il existe un lien entre l'utilisation des langues nationales dans l'enseignement fondamental et la faible capacité d'écriture et de lecture en français des élèves du second cycle. Le khi deux calculé est de 16,667 avec un degré de liberté de 2. Ce qui montre les élèves des écoles fondamentales utilisant les langues nationales ont des difficultés à écrire et à lire correctement en français au second cycle. Après une première année uniquement en langue nationale et les cinq autres années avec la langue nationale et le français, en septième année l'élève peut avoir des difficultés en français qui redevient le médium principal d'enseignement. Des lacunes qui peuvent constituer des obstacles à l'élève au niveau de l'examen du Diplôme d'Etudes Fondamentales.

IV. CONCLUSION

En conclusion nous pouvons affirmer que dans l'ensemble les parents d'élèves se disent défavorables à l'utilisation des langues nationales dans l'enseignement fondamental malien et qu'elle peut être considérée comme l'un des facteurs de la baisse de niveau actuelle des élèves. Nous n'avons pas l'intention d'affirmer que tous les parents d'élèves du Mali sont contre, cependant c'est la tendance qui se dégage dans la ville de Bamako. Cette attitude de rejet de cette innovation est surtout liée à l'ethnie et au niveau d'instruction des parents. En effet, les parents les plus instruits sont les moins favorables. Les arguments avancés sont surtout liés à la baisse de niveau des élèves notamment ceux du second cycle, à l'importance des langues nationales maliennes sur le plan national et international, au nombre élevé de langues utilisées dans l'enseignement, etc. L'étude nous a permis de découvrir que les parents instruits et certaines ethnies de Bamako sont défavorables à l'utilisation des langues nationales dans l'enseignement fondamental. L'étude fait aussi ressortir aussi que 96% des parents ayant le niveau d'études supérieures, 76,92% de ceux qui ont le niveau d'études secondaire et 71,43% de ceux ayant le niveau d'études second cycle, affirment que la langue nationale a un impact négatif que le niveau des élèves en français au second cycle de l'enseignement fondamental.

L'utilisation d'une langue nationale en soi ne constitue pas un problème au niveau de l'enseignement car cela renforce l'identité nationale

et culturelle, valorise la langue utilisée et doit être une fierté pour tous les pays. Tous les pays développés utilisent une langue nationale comme médium d'enseignement. Cependant le cas du Mali est entaché par beaucoup d'insuffisances notamment le nombre de langues utilisées, l'insuffisance dans la formation initiale et continue des enseignants, l'insuffisance de matériels, etc. Toutes ces difficultés rendent réticents les parents à l'utilisation des langues nationales dans l'enseignement fondamental malien.

L'étude empirique a porté seulement sur la Ville de Bamako, les résultats ne pouvant donc pas être extrapolés sur tout le pays, d'autres recherches seront nécessaires pour mesurer l'attitude des parents du Mali face à l'utilisation des langues nationales dans l'enseignement fondamental malien.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Diarra, M. (1983). *Problématique de l'enseignement des langues nationales au Mali*. Bamako/Mémoire de maîtrise en Psychopédagogie/ENSup.
- [2] Diarra, M. (2016). *L'impact de l'enseignement bilingue sur le rendement scolaire au Mali : cas du 1^{er} cycle de l'enseignement fondamental de la commune rurale de Massantola central, cercle de Kolokani*. Bamako/Mémoire de maîtrise en Sciences de l'éducation/FSHSE.
- [3] Doumbia, A T. (2000). *L'enseignement du bambara selon la pédagogie convergente au Mali : théorie et pratiques*, Nordic Journal of African Studies n°9.
- [4] Duverge, J. (2009). *L'enseignement en classe bilingue Vanves*. Hachette/FLE., (Collection F).
- [5] Erny, P. (2001). *Essai sur l'éducation en Afrique noire*. Edition Africaine, Harmattan.
- [6] Haidara M L. (2000). *Introduction des langues nationales dans l'enseignement : attitude des maîtres de Bamako*. Bamako/ISFRA/Nordic Journal of African Studies, n°9.
- [7] Lietti, A. (2006) *Pour une éducation bilingue : guide de survie à l'usage des petits Européens*, Lausanne. Paris/Payot.
- [8] Loi n°99-046 du 28 Décembre 1999 portant loi d'orientation sur l'éducation
- [9] MEN (2008). *Rapport général du forum national sur l'éducation*. Bamako/Primature/Comité d'organisation du forum national sur l'éducation.
- [10] Moumouni, A. (1998). *L'éducation en Afrique*. Editions Présence Africaine.
- [11] Programme Décennal de Développement de l'Education (1998). *PRODEC : les grandes orientations de la politique éducative*. Bamako/MEN

- [12] Traoré, S. (2001) *La pédagogie convergente : son expérimentation au Mali et son impact sur le système éducatif*, Genève/UNESCO.
- [13] Wambach, M. (2009). *A propos de la pédagogie convergente : quelques mises au point*. Belgique/CIAVER.

CANCERS : PREVENTION-STRATEGIES DE DEPISTAGE-PRISE EN CHARGE

Influence de trois extraits d'alcaloïdes totaux sur la prolifération des cellules cancéreuses mammaires MCF-7

TRAORE N.^{1*}, DELORT L.², DEMBELE A.¹, DIALLO B.¹, DIALLO D.³, SIDIBE L.¹, BOUARE S.¹,
CHALARD P.⁴, CHALCHAT J-C.⁴, CALDEFIE-CHEZET F.²

¹Laboratoire de Chimie Organique et Substances Naturelles, Faculté des Sciences et Techniques, USTTB

²Laboratoire des Sciences Végétales et Fongiques Pharmaceutiques, EA4233 « Nutrition, Cancérogenèse et Thérapie anti-tumorale », Faculté de Pharmacie, Université d'Auvergne, Clermont-Ferrand

³Département de Médecine Traditionnelle du Mali, Faculté de Médecine, Pharmacie et Odontostomatologie, Bamako

⁴Laboratoire de Chimie des Hétérocycles, Glucides et des Huiles Essentielles, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand

*Auteur de correspondance : nah.traore@usttb.edu.ml

RESUME: Ce travail a pour but d'étudier à différentes concentrations l'activité des extraits d'alcaloïdes totaux obtenus à partir de l'écorce de tronc et des feuilles du *Balanites aegyptiaca* et des feuilles de *ombretumglutinosum* sur la prolifération des cellules cancéreuses mammaires MCF-7. Les résultats obtenus montrent que dans nos conditions de travail, l'extrait d'alcaloïdes totaux des feuilles de *Combretum glutinosum* provoque une inhibition totale de la prolifération à la concentration de 100 µg/mL par contre les extraits d'alcaloïdes totaux des feuilles et de l'écorce de tronc de *Balanites aegyptiaca* n'ont aucune influence significative sur la prolifération des cellules cancéreuses MCF-7.

Mots clés: *Combretum glutinosum*, *Balanites aegyptiaca*, alcaloïdes totaux, cellules cancéreuses mammaires MCF-7.

I. INTRODUCTION

Depuis l'Antiquité, les plantes ou leurs extraits sont utilisés en médecine traditionnelle dans le traitement de nombreuses pathologies pour leurs propriétés anti-inflammatoires et antibactériennes et notamment dans le traitement de certaines pathologies tumorales. Ainsi, de nombreux médicaments doivent leur existence à la biodiversité du milieu naturel. Plus de 50% des médicaments utilisés aujourd'hui en chimiothérapie anticancéreuse sont d'origine naturelle. L'investigation des plantes représente un potentiel inestimable pour la découverte de nouvelles substances, si l'on considère que chacune de ces plantes peut contenir des centaines, voire des milliers de métabolites secondaires [1]. Ces dernières années, plusieurs molécules isolées des plantes sont devenues des médicaments efficaces. Nous pouvons ainsi citer le taxol qui est utilisé dans le traitement des cancers de l'ovaire et du sein, issu de *Taxusbaccata* L. (*Taxaceae*) et l'artémisinine isolée de *Artemisiaannua*L. (*Asteraceae*) qui possède des propriétés antipaludiques [2].

Parmi les nombreuses substances susceptibles de manifester une activité pharmacologique que les plantes renferment, nous avons choisi de nous intéresser aux alcaloïdes totaux extrait de *Combretum glutinosum*Perr. ex DC et *Balanites aegyptiaca*(L.) Del.

Les alcaloïdes sont des composés présents dans plusieurs familles de plantes comme celles des *Combretaceae*. Ce sont des substances naturelles réagissant comme des bases, du fait de la présence du doublet d'électrons libres sur l'atome d'azote dans un système hétérocycle, et possédant à faible dose une activité pharmacologique [3].

Combretum glutinosum, de la famille des *Combretaceae*, se présente sous forme d'arbre ou arbuste pouvant atteindre 12 m de haut [4]. Les feuilles sont diurétiques et cholagogues ; d'où leur utilisation dans toutes les affections hépatobiliaires. La décoction des feuilles pilées est employée efficacement contre les hémorragies, spécialement celles dues aux circoncisions [5], [6]. Des tests biologiques réalisés au Burkina Faso sur l'activité anti plasmodiale des extraits méthanolique et hydrométhanolique des feuilles de *Combretum glutinosum* ont montré une légère activité [7]. L'extrait décocté des feuilles s'est révélé actif *in vitro* avec des doses de 100 à 500 ng/mL sur le virus de l'hépatite B [8]. Trois molécules ont pu être isolées : 1-hexahydroxydiphenol-D glucose, 2-punicaline et punicalagine [9].

Balanites aegyptiaca(L.) Del. est un arbre à cime sphérique, aplatie ou irrégulière atteignant 8-9m de haut. [10]. Les jeunes feuilles sont utilisées comme antivenimeux (piqûre de scorpion), et contre les otites suppurées ou sèches, les furoncles, la

pneumonie, la variole [11], [12]. L'écorce de tronc est utilisée contre les maux de ventre, fièvre jaune, ictère, toux épilepsie [10], [13]. Les feuilles de *Balanites aegyptiaca* contiennent des flavonoïdes [14], des tanins, des alcaloïdes [7]. et des éléments minéraux [15]. Les jeunes feuilles ont les teneurs les plus élevées en matières azotées totales atteignant 223g/Kg [16].

L'objectif de ce travail a été d'évaluer l'activité de trois extraits d'alcaloïdes totaux provenant des feuilles de *Combretum glutinosum* et d'écorce de tronc et feuilles de *Balanites aegyptiaca*. et de la vinblastine comme témoin. Nous avons ainsi évalué la prolifération de cellules cancéreuses mammaires en lignée continue (MCF-7) après traitement ou non par ces extraits.

Ce travail s'inscrit donc dans une perspective de découverte de nouveaux composés pouvant trouver une application notamment dans le traitement du cancer de sein. La sélection de ces espèces est basée sur leurs utilisations en médecine traditionnelle malienne.

II. MATERIELS ET METHODES

2.1 Matériel végétal

Les feuilles et l'écorce de tronc des plantes ont été récoltées à Kati qui est une ville située dans la région de Koulikoro (2^{ème} région du Mali). elles ont été séchées à l'ombre, à température ambiante au sein du Laboratoire de Chimie Organique et Substances Naturelles de la Faculté des Sciences et Techniques de Bamako. Elles ont ensuite été broyées à l'aide d'un pulvérisateur de type Retsch SM 2000 (1430 UPM) pour l'obtention des poudres très fines.

2.2 Préparation des extraits d'alcaloïdes totaux

L'extraction a été réalisée sur des poudres végétales où des essais préliminaires ont mis en évidence la présence d'alcaloïdes

Le matériel végétal est lixivié dans le cyclohexane pendant 24 heures.

Le marc épuisé par le cyclohexane séché a subi une macération dans un mélange ammoniac/méthanol (1 : 3) pendant 48 heures. Le filtrat récupéré est concentré sous vide à une température modérée (40°C). La solution concentrée obtenue est épuisée par le chlorure de méthylène.

La solution extractive de chlorure de méthylène est séchée avec du Na₂SO₄ anhydre et concentrée sous vide. Le concentré est épuisé à l'aide de l'acide chlorhydrique 5% pendant 24 heures.

La phase aqueuse de HCl est alcalinisée par de la soude 1 M jusqu'au pH 8-9 puis de nouveau épuisée par le chlorure de méthylène.

La phase de CH₂Cl₂ est séchée sur sulfate de sodium anhydre, filtrée et ensuite évaporé jusqu'à l'obtention d'un résidu sec d'alcaloïdes totaux (A.T.).

2.3 Cellules cancéreuses

La mesure de prolifération a été effectuée sur une lignée de cellules cancéreuses mammaires appelée MCF-7. Cette lignée est une des plus utilisées dans les laboratoires de recherche concernant l'étude du cancer du sein. MCF-7 est l'acronyme de Michigan Cancer Foundation-7, en référence à l'institut de Detroit où la lignée fut établie en 1973 par l'équipe d'Herbert Soule (Lacroix)

2.4 Ensemencement des plaques à 96 puits

Les cellules MCF-7 sont ensemencées dans des plaques 96-puits à une concentration de 50 000 cellules/mL et mises à incuber à l'étuve à 37°C, 5% de CO₂. Au bout de 24 heures, les cellules sont mises en présence de différentes concentrations des extraits : 100 µg/mL, 50 µg/mL, 25 µg/mL et 12,5 µg/mL.

En parallèle, pour chaque échantillon un témoin DMSO (solvant de solubilisation de l'extrait) est réalisé. La concentration de DMSO au niveau de ce témoin correspond à la concentration de ce solvant dans l'extrait à 100 µg/mL. Les plaques sont ensuite mises à incuber.

La mesure de la prolifération cellulaire est réalisée indirectement par une technique utilisant la résazurine. Après 72 heures d'incubation, le milieu de culture est substitué par une solution de résazurine (25 µg/mL), qui en présence de cellules métaboliquement actives est réduite en résosfurine fluorescent à 590 nm (figure 1), et dont l'intensité de fluorescence est proportionnelle au nombre de cellules viables. La fluorescence est ensuite mesurée grâce à un lecteur de plaque (Fluoroskan Ascent FI[®], Thermo Electron Corporation, France) à 590 nm.

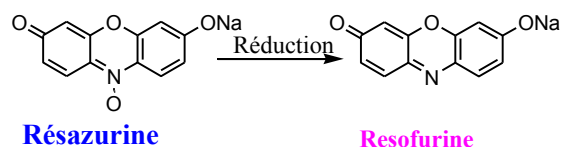


Figure1: Réduction de la résazurine en résosfurine

2.5 L'intensité de fluorescence

L'intensité de fluorescence obtenue après lecture au Fluoroskan Ascent (exprimée en unité arbitraire) est convertie en pourcentage d'inhibition de la prolifération par rapport à la prolifération des cellules témoins (témoin DMSO). Nous avons établi que le DMSO n'a aucune influence sur la prolifération des cellules, ceci en comparaison avec un témoin sans DMSO réalisé dans les mêmes conditions.

Pour chaque extrait, la CI 50 a été calculée. Les résultats sont présentés sous la forme : moyenne $\pm$ ESM (Ecart standard à la moyenne). L'analyse statistique repose sur l'utilisation du test t en séries appariées ($n = 3$).

III. RESULTATS

3.1 *Combretum glutinosum*

Une gamme de concentrations (100, 50, 25 et 12,5 $\mu\text{g/mL}$) a été étudiée sur l'extrait d'alcaloïdes totaux obtenu à partir des feuilles de la plante.

Nous avons observé une inhibition totale de la prolifération cellulaire à la concentration la plus haute puis une diminution de cette inhibition avec les concentrations d'extrait décroissantes (figure 2).

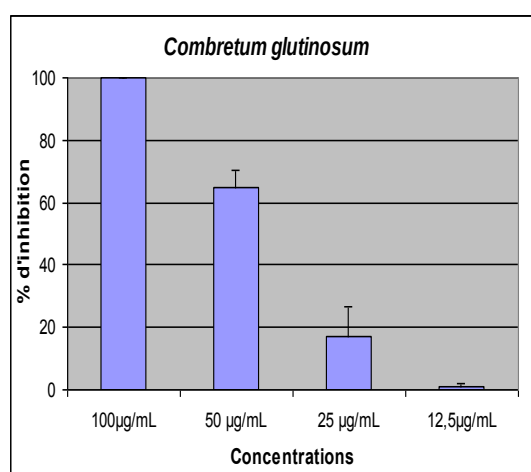


Figure 2: Pourcentage d'inhibition de la prolifération des cellules cancéreuses MCF-7 en fonction des concentrations de l'extrait d'alcaloïdes totaux des feuilles de *Combretum glutinosum* (moyenne $\pm$ ESM. Test t apparié sur 3n)

La concentration inhibitrice de 50% de cellules (CI 50) calculée a donné une CI 50 égales à 40,13 $\mu\text{g/mL}$.

Ainsi l'extrait d'alcaloïdes totaux des feuilles de *Combretum glutinosum* présente une activité antiproliférative sur les cellules cancéreuses mammaires de la lignée MCF-7.

3.2 *Balanites aegyptiaca*

La même gamme de concentrations (100, 50, 25 et 12,5 $\mu\text{g/mL}$) a été étudiée sur les extraits d'alcaloïdes totaux des feuilles et d'écorce de tronc de cette plante (figure 3).

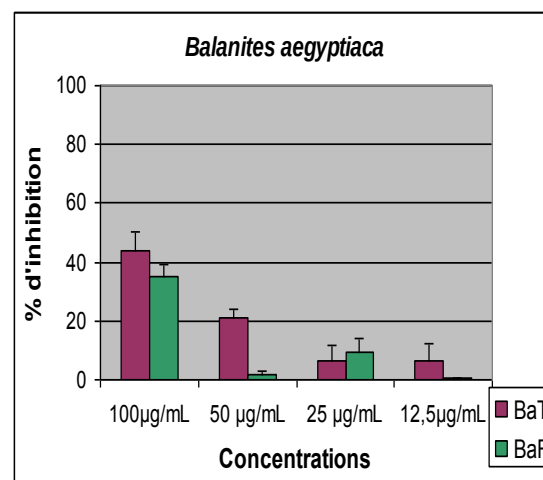


Figure 3 Pourcentage d'inhibition des cellules cancéreuses MCF-7 en fonction des concentrations des extraits d'alcaloïdes totaux des feuilles (BaF) et de tronc (BaT) de *Balanites aegyptiaca* (moyenne $\pm$ ESM. Test t apparié sur 3n)

Une faible inhibition de la prolifération ($<50\%$) a été observée quelle que soit la concentration testée et l'extrait étudié (tronc ou feuilles).

3.3. Vinblastine

Dans les mêmes conditions de travail, des tests similaires effectués avec la vinblastine comme témoin ont permis de déterminer une CI50 de 1,196 ng/mL

IV. DISCUSSION

Ce travail nous a permis d'évaluer l'activité anticancéreuse des extraits d'alcaloïdes totaux de deux plantes *Combretum glutinosum* (feuilles) et *Balanites aegyptiaca* (feuilles et écorce de tronc) sur la prolifération des cellules cancéreuses mammaires de la lignée MCF-7. Différentes réponses anticancéreuses ont été obtenues en fonction des concentrations des extraits testées.

Nous avons pu mettre en évidence que l'extrait d'alcaloïdes totaux des feuilles de *Combretum glutinosum* provoque une inhibition totale de la prolifération à la concentration de 100 $\mu\text{g/mL}$. En revanche, une concentration de 12,5 $\mu\text{g/mL}$ du même extrait est sans influence sur la croissance des cellules cancéreuses mammaires MCF-7. Selon les valeurs des CI 50, cet extrait présente une activité anticancéreuse intéressante (CI 50 égales à 40,13 $\mu\text{g/mL}$)

Ces résultats concordent avec ceux de Fyhrquist, L et al., 2006 obtenus avec l'extrait méthanolique (25 $\mu\text{g/mL}$) des feuilles de *Combretum fragrans* et des fruits de *Combretum zeyheri*, deux plantes de la même famille que *Combretum glutinosum*. [17].

Par contre, les extraits d'alcaloïdes totaux des feuilles et écorce de tronc de *Balanites aegyptiaca* n'ont aucune influence significative sur la prolifération des cellules cancéreuses MCF-7.

Dans nos conditions expérimentales, il apparaît que la vinblastine présente une activité antiproliférative plus élevée par rapport à nos extraits d'alcaloïdes totaux avec une CI50 de 1,196 ng/mL ($1,196 \cdot 10^{-3}$ µg/mL).

V. CONCLUSION

Cette étude a permis d'évaluer pour la première fois l'activité anticancéreuse d'extraits d'alcaloïdes totaux provenant de deux plantes d'origine Malienne, *Combretum glutinosum* (feuilles) et *Balanites aegyptiaca* (feuilles et écorce de tronc). La valeur de la CI50 de *Combretum glutinosum* montrent une activité anticancéreuse potentiellement intéressante mais très supérieure à celle de l'anticancéreux de référence.

Il serait intéressant de mener des recherches complémentaires afin d'isoler et d'identifier les alcaloïdes purs de l'extrait de *Combretum glutinosum*.

REFERENCES

- [1] K. Hostettmann, 1997, *Tout savoir sur le pouvoir des plantes, source de médicaments*. Edition Fabre SA, Lausanne, Suisse.
- [2] K. Hostettmann, 2001, *Tout savoir sur les plantes médicinales des montagnes*. Edition Fabre SA, Lausanne, Suisse.
- [3] J. Bruneton, 1993, *Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes médicinales*. 2^{ème} édition Lavoisier, Paris.
- [4] V.H.J. Maydell, 1980, *Arbres et arbuste du Sahel : leurs caractéristiques et usage*, Edition GTZ. vol 147, pp 529.
- [5] J. Berhaut, 1967, *Flore du Sénégal*, 2^{ème} édition.
- [6] H. Wangenstein, D. Diallo, B.S. Paulsen, 2015 *Medecinal plants from Mali: Chemistry and biology*, Journal of Ethnopharmacology, vol 176, pp 429-437.
- [7] O. Ouattara, S. Ouedrago, H. Tamboura., J.W. Poda et I.P. Guissou, 2004, *In vivo chez le caprin parasité, Balanites aegyptiaca possède des propriétés antiparasitaires*, Revue Sciences et Techniques, Science de la Santé Burkina Faso, Vol. 27, n°1, Janvier – Juin
- [8] J. Lousset, 1989, *Plantes médicinales africaines (utilisations pratiques)*, Ed. ACCT, Paris, pp 27,28.
- [9] A.. Jossang, J. L. Pousset, B. Bodo, 1994, *Combreglutiniun, a hydrolyzable tanin from Combretum glutinosum*. Journal of natural products, Vol. 57, n° 6, pp 732 – 737
- [10] M. Arbonnier, 2009 *Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest*. 3^e Edition.
- [11] H.M. Burkil, 1997, *The Useful Plants of West Tropical Africa*, Edition 2 Vol. 4. Families: M-R. Royal Botanic Gardens Kew, PP. 969.
- [12] J. Kerharo et J.G. Adams, 1974, *Pharmacopée sénégalaise traditionnelle : Plantes médicinales et toxiques*. Edition Vigot et frère, Paris, pp 1011.
- [13] D. Malgras, 1992, *Arbres et Arbustes guérisseurs des savanes africaines* Edition Karthala et ACCT, Paris, pp346.
- [14] A. S. Maksoud and M.N. Hadidi, 1988, *The flavonoids of Balanites aegyptiaca (Balanitaceae) from Egypte*. Biomedical and Life Sciences. 160, pp 153 – 158.
- [15] T.C.Lockett, C. C. Calvet. and L.E. Grivetti, 2000, *Energy and micronutrient composition of dietary and medicinal wild plants consumed during drought. Study of rural funali northeasten Nigeria in inter*, Journal of Food Sciences and Nutrition, vol 51, pp 195 – 208
- [16] C. Kaboré., Zoungana, B. Diarra, C. Adandedjan et S. Savadogo, 2008, *Valeur nutritive de Balanites aegyptiaca pour alimentation des ruminants*. Research for Rural Development. vol 4, pp 20.
- [17] P. Fyhrquist., L. Mwasumbi, P. Vuorela, H. Vuorela, 2006, *Preliminary antiproliferative effects of some species of Terminalia, Combretum and Pteleopsis collected in Tanzania on some human cancer cell lines*. Fitoterapia. Vol. 77 (5), pp 66-358.

Composition chimique et activité anticancéreuse de l'huile essentielle de *Zanthoxylum Zanthoxyloides*

TANGARA O^{1*}, TEMBELY L¹, TRAORÉ N¹, BOUARÉ S¹, FOFANA B¹, SOMBORO A¹, SIDIBÉ L¹, CHALARD P², CHALCHAT J-C², CALDEFIE-CHÉZET F³, BILLARD H³.

1. Laboratoire de Chimie Organique et Substances Naturelles, Faculté des Sciences et Techniques de Bamako
2. Equipe Conception et Synthèse de Molécules Antalgiques », Laboratoire de Chimie des Hétérocycles et des glucides, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Clermont-Ferrand, Ensemble Scientifique des Cezeaux, Aubière Cedex
3. Laboratoire des Sciences Végétales et Fongiques Pharmaceutiques, Faculté de Pharmacie de l'Université d'Auvergne

*Auteur de correspondance : tangara.ousmane@yahoo.fr

RESUME : L'huile essentielle de *Zanthoxylum zanthoxyloides* a été extraite de trois organes récoltés le matin, sur trois sites et à deux périodes différentes (janvier et août). Les analyses ont été faites en GC/FID et GC/MS. Les constituants majoritaires identifiés ont été, fruits : linalol (48,6 %), limonène (19,7 %), feuilles (en janvier) : limonène (23,7 %), acide hexadecanoïque (12,4 %), feuilles en (août) : décanal (17,1 %), α -selinène (9,0 %), tige (en janvier et août) : tricosane (15,2 %), acide hexadecanoïque (13,2 %). Les tests réalisés avec trois échantillons (fruits, feuilles, tige) sur une lignée de cellules cancéreuses mammaires de type MCF-7 ont montré que deux échantillons présentaient une activité notable.

Mots clés : *Zanthoxylum zanthoxyloides*, huile essentielle, composition chimique, anticancéreuse.

I. INTRODUCTION

Zanthoxylum zanthoxyloides est un petit arbre haut de 5 à 15 m. On le rencontre particulièrement dans certains terrains secs de la zone des savanes, dans les forêts-galeries et même dans les steppes côtières sahéliennes du Sénégal et les fourrés littoraux de l'Afrique occidentale¹. Il est utilisé dans le traitement de beaucoup de maladies en Afrique occidentale (activités antibactériennes², antifongique³, antiparasitaire⁴...etc.).

Selon les estimations de l'OMS⁵, plus de 80 % de la population en Afrique utilisent encore la médecine traditionnelle pour répondre à leurs besoins de soins de santé. Face aux problèmes de santé publique, les plantes médicinales pourraient apporter une réponse thérapeutique adaptée aux moyens financiers et à l'environnement socioculturel des populations. Comme de nombreuses plantes possédant une bonne renommée pour les vertus thérapeutiques, *Zanthoxylum zanthoxyloides* est utilisée dans le traitement de nombreuses affections. L'utilisation de cette plante par la médecine traditionnelle pourrait se justifier car plusieurs études scientifiques ont mis en évidence les activités diverses de certains extraits de cette plante^{5, 6, 7}.

L'étude de la composition chimique de l'huile essentielle et le test anticancéreux doivent contribuer

à la valorisation de *Zanthoxylum zanthoxyloides* réputé pour ses vertus thérapeutiques.

II. MATERIEL ET METHODES

2.1 Extraction et analyse des huiles essentielles

2.1.1 Extraction

La technique utilisée était celle de l'entraînement à la vapeur d'eau à l'aide d'un appareil à circulation de vapeur de type Kaiser-Lang modifié. Au niveau de la burette, l'eau distillée était ajoutée à environ 5 ml d'hexane afin de piéger l'huile essentielle. La séparation entre la phase hexanique et l'eau s'est faite par décantation. L'évaporation de l'hexane à l'air libre a permis d'obtenir l'huile essentielle. Les quantités d'huile essentielle provenaient du cumul d'au moins trois distillations, sauf pour les fruits.

Poids de la biomasse sèche : 56 g – 3,5 g
Volume d'eau dans le ballon : 750 ml/extraction
Volume d'hexane ajouté dans la burette : 5 ml/extraction
Durée de la distillation : 3 heures après le début de la 1^{ère} goutte de distillat.

2.1.2 Analyse

- L'analyse qualitative est réalisée au moyen d'un appareil de chromatographie gazeuse Agilent modèle 7890 couplé à un spectrophotomètre de masse Agilent, modèle 5975, équipé d'une colonne DB5 (20 m x 0,18 mm x 0,18 μ m). La température du four est de 50°C pendant 3, 2 minutes puis augmentée jusqu'à 300°C à la vitesse de 10°C/mn. Celle de l'injecteur est de 280°C ; le volume injecté est de 1 μ l et l'ionisation est réalisée par impact électronique à 70 ev. Le débit de gaz vecteur (He) est égal à 0,9 ml/mn.

- L'analyse quantitative est assurée par un appareil de chromatographie gazeuse Agilent, modèle 6890, équipé d'une colonne DB5 (20 m x 0,18 mm x 0,18 μ m). La température du four est de 50°C pendant 2,3 minutes puis augmentée jusqu'à 300°C à la vitesse de 10°C/mn. Celle de l'injecteur est de 280°C. Le volume injecté est de 1 μ l et cet appareil est équipé d'un détecteur à ionisation de flamme dihydrogène (40 ml/mn) / air (450 ml/mn). Le débit de gaz vecteur (He) est de 1 ml/mn.

Les spectres sont ensuite interprétés à l'aide du logiciel Enhanced Data Analysis et des bases de données Adams, Willey et celle de LEXVA. L'identification est basée sur la corrélation des valeurs calculées et celles trouvées dans la littérature des indices de Kovats, ainsi que sur le profil des spectres de masse du composé analysé et de celui proposé par le logiciel.

2.2 Analyse anticancéreuse

2.2.1 Matériel

- Plaques à 96 puits
- Lames de malassez
- Fluoroskan (Fluorimètre)
- Cellules cancéreuses MCF-7

2.2.2 Milieux de culture

RPMI 1640 : 90 % RPMI 1640 (gentamicine 50 μ g/ml – insuline 1,4 μ g/ml) + 10 % SFV + glutamine.

2.2.3 Suivi de l'activité anticancéreuse

Les cellules sontensemencées sur des plaques à 96 puits à une concentration de 50 000 cellules/ml soit 10 000 cellules/puits pour un volume de 200 μ l/puits. Après 24 H d'incubation à l'étuve à 37°C, 5 % CO₂, les cellules sont mises en présence des différentes huiles essentielles à différentes concentrations. Pour chaque échantillon, on réalise un témoin avec du

DMSO. Au bout de 72 H d'incubation, le milieu de culture est substitué par une solution de résazurine (1/50) : on observe un changement de coloration du bleu au rose suite à la réduction de la résazurine (bleu) en résorufine (rose). On mesure la fluorescence grâce à un lecteur de plaque (Fluoreskan) pour une longueur d'onde : excitation 530 nm, émission 590 nm. Pour chaque huile essentielle testée, une gamme de criblage est tout d'abord testée avec les concentrations suivantes : 0,04 % - 0,03 % - 0,02 % - 0,01 % - 0,005 %.

Trois mesures pour chaque gamme de concentrations ont été réalisées ainsi que le calcul de la CI₅₀ de chaque échantillon.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Résultats

3.1.1 Composition chimique des huiles essentielles

3.1.1. a Fruits

Table 1. Composés principaux de l'huile essentielle de fruits (%)

composés	KI	Y	K	B
α -pinène	939	-	1,7	1,1
(Z)- β -ocimène	1037	-	2,1	0,6
linalol	1096	0,9	4,7	5,1
décanal	1201	0,8	9,1	14,5
(E)-caryophyllène	1419	2,2	4,6	2,3
Oxyde de caryophyllène	1583	5,6	0,5	-
α -eudesmol	1653	2,3	-	0,3
Acide hexadecanoïque	1960	12,4	-	-

K : Kadiolo

B : Koni

3.1.1. b Feuilles

Table 2 : Composés principaux de l'huile essentielle de feuilles en janvier (%)

composés	KI	Y	K	B
α -pinène	939	-	1,7	1,1
(Z)- β -ocimène	1037	-	2,1	0,6
linalol	1096	0,9	4,7	5,1
décanal	1201	0,8	9,1	14,5
(E)-caryophyllène	1419	2,2	4,6	2,3
Oxyde de caryophyllène	1583	5,6	0,5	-
α -eudesmol	1653	2,3	-	0,3

Acide hexadecanoïque	1960	12,4	-	-

K : Kadiolo Y : Yanfolila B : Koni

Table 3. Composés principaux de l'huile essentielle de feuilles en août (%)

Composés	KI	Y	K	B
Limonène	1029	1,2	-	8,2
Linalol	1096	3,7	0,8	4,1
Décanal	1201	2,5	0,8	17,1
(E)-caryophyllène	1419	1,01	1,9	5,7
α -selinène	1498	9,0	-	-
spathulénol	1578	1,6	4,93	-
Acide hexadecanoïque	1960	10,5	1,3	1,9
3-méthyl eicosane	2072	-	17,0	-

K : Kadiolo Y : Yanfolila B : Koni

3.1.1.C Tige

Table 4. Composés principaux de l'huile essentielle de tige en janvier (%)

composés	KI	Y	K	B
heptadecane	1700	2,3	2,9	2,4
octadecane	1800	5,9	7,5	2,7
phytane	1808	2,5	3,2	0,8
nonadecane	1900	4,9	6,2	1,1
Acide hexadecanoïque	1960	13,3	1,8	-
3-méthyl nonadecane	1974	2,2	0,1	2,8
eicosane	2000	4,4	5,1	5,0

K : Kadiolo Y : Yanfolila B : Koni

Table 5. Composés principaux de l'huile essentielle de tige en août (%)

Composés	KI	Y	K	B
Linalol	1096	0,2	3,5	0,5
Décanal	1201	10,5	-	-
Acide hexadecanoïque	1960	9,1	10,9	7,7
heneicosane	2100	8,4	4,9	8,8
docosane	2200	11,3	11,4	14,5
tricosane	2300	12,0	10,3	15,2
tetracosane	2400	6,0	5,2	9,0

K : Kadiolo Y : Yanfolila B : Koni

3.1.1. d Racine

Table 6. Composés principaux de l'huile essentielle de racine en janvier (%)

composés	KI	Y	K
hexadecane	1600	0,5	0,5
heptadecane	1700	1,6	1,5
octadecane	1800	4	4,7
nonadecane	1900	3,9	4,1
Acide hexadecanoïque	1960	9,2	0,9
3-méthyl nonane	1974	2,4	2,2
eicosane	2000	4,4	4,2

K : Kadiolo Y : Yanfolila

3.1.2 Activité anticancéreuse

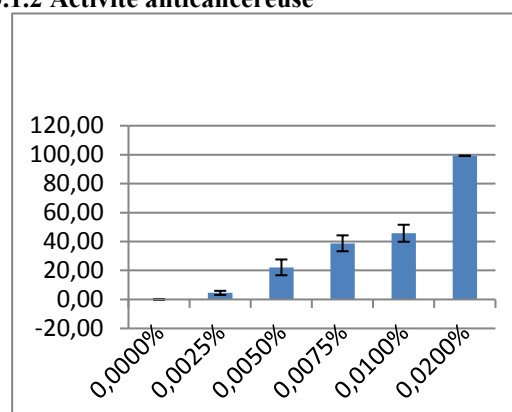


Figure 1. Variation du pourcentage d'inhibition de l'HE de fruits de Koni en fonction de la concentration

Table 8. CI50 de l'HE de fruit de Koni sur cellules MCF-7

	CI 50	
N1	0,0095	%
N2	0,0093	%
N3	0,0119	%
Moyenne	0,0102	%
SEM	0,0008	

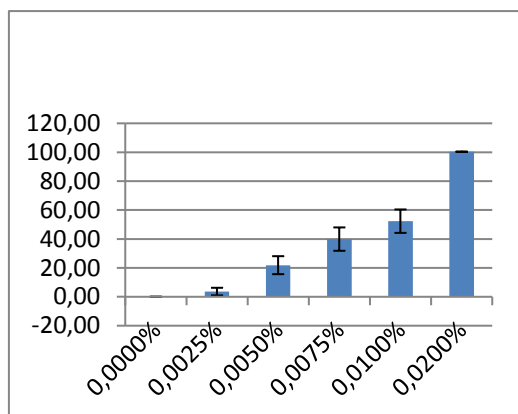


Figure 2. Variation du pourcentage d'inhibition de l'HE de feuilles de Koni en fonction de la concentration

Table 9. CI 50 de l'HE de feuilles de Koni sur cellules MCF-7

	CI 50	
N1	0,0075	%
N2	0,0082	%
N3	0,0116	%
Moyenne	0,0091	%
SEM	0,0013	

IV. DISCUSSION

L'huile essentielle des fruits est constituée principalement de linalol (Kadiolo) et de limonène (Koni). La comparaison avec les données de la littérature montre que l'huile essentielle de nos fruits, contrairement à celle du Cameroun ^{8,9} ne contient pas de citronellol. L' α -pinène et le (E)- β -ocimène qui y sont majoritaires n'existent pas sur notre site de Kadiolo. Les constituants communs de nos huiles essentielles de fruits de Koni et de Kadiolo avec ceux du Bénin¹⁰ sont le (E)- β -ocimène et le linalol pour Koni et le linalol seul pour Kadiolo.

L'huile essentielle des feuilles est constituée principalement pour la période de janvier de décanal (Kadiolo et Koni) et d'acide hexadécanoïque présent uniquement à Yanfolila ; Pour la période d'août c'est l'acide hexadécanoïque (Yanfolila), le 3-méthyl eicosane (Kadiolo) et le décanal (Koni). La composition chimique de l'huile essentielle de nos feuilles est très différente de celle du Bénin¹⁰

constitué presque exclusivement de monoterpènes (98,2 %). Contrairement à l'HE des feuilles du Costa-Rica¹¹, le géraniol et le citronellal n'existent pas dans nos huiles essentielles. Le bulnesol qui est un des constituants principaux de l'HE de Cuba¹², n'est présent dans aucune de nos huiles essentielles.

Les composés principaux de l'HE de la tige et de la racine sont des alcanes supérieurs (tricosane, tetracosane, eicosane, heneicosane, docosane etc.) avec exceptionnellement un monoterpène l' α -pinène dans l'HE de racine au mois d'août sur le site de Yanfolila.

On remarque (Figure1 et 2) que le pourcentage d'inhibition est une fonction croissante de la concentration. L'échantillon le plus prometteur est celui des feuilles. Cette activité est sans doute liée à sa composition chimique, mais il est difficile de l'attribuer à un seul composé puisque l'effet de synergie peut exister entre les différents composés.

V. CONCLUSION

L'analyse de la composition chimique a permis d'observer une variation de la composition chimique :

- en fonction des organes d'extraction
- en fonction de la période d'extraction
- en fonction des sites pour les huiles essentielles de fruits et de feuilles d'où une existence probable de chémotypes.

L'activité anticancéreuse à montrer que l'échantillon le plus prometteur est celui des feuilles ; cependant il serait intéressant de réaliser d'autres tests avec des gammes de concentrations plus faibles pour mieux cerner la CI₅₀.

REFERENCES

- [1] I. Bertrand, *Etude pharmacologique d'une rutacée de la pharmacopée traditionnelle africaine Zanthoxylum zanthoxyloides Waterm* 1998, Thèse de doctorat, université de Metz.
- [2] A. G. Frankam, V. Kuete, I. Voukeng, J. R. Kuiate, J. M. Pages, *BMC Complementary and alternative medicine* 2011, 11, 104. Antibacterial activities of selected Cameroonian species and their synergistic effects with antibiotics against multidrug-resistant phenotypes.
- [3] H. A. Akpona, J. D. T. Akpona, S. K. Awokou, A. Yemoa, and L. O. N. Dossa, *Journal of medicinal plants research* 2009, 3, 5, 382-389. Inventory, folk classification and

- pharmacological properties of plants species used as chewing stick in Benin Republic.
- [4] K. M. Ahua, J. R. Ioset, K. N. Ioset, D. Diallo, J. Mauël, K. Hostettmann, *Journal of ethnopharmacology* 2007, 110, 1, 99-104. Antileishmanial activities associated with plants used in the Malian traditional medicine.
 - [5] F. Gardini, N. Belletti, M. Ndagijimana, M. E. Guerzoni, F. Tchoumboungang, P. H. A. Zollo, C. Micci, R. Lanciotti, S. L. Sado Kamdem, *African Journal of microbiology research* 2009, 3, 5, 264-271. Composition of four essential oils obtained from Cameroon, and their bactericidal and bacteriostatic activity against *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enteritidis* and *staphylococcus aureus*.
 - [6] A. N. Ngane, L. Biyiti, P. H. Zollo, P. Bouchet, *Journal of ethnopharmacology* 2000, 70, 3, 335-342. Evaluation of antifungal activity of extracts of two Cameroonian rutaceae: *Zanthoxylum leprieurii* Guill. Et Perr. And *Zanthoxylum zanthoxyloides* waterm.
 - [7] E. M. Essien, J. I. Okogun, A. Adelakun, *African journal of medicine and medical sciences* 1985, 14, 83-88. Blood coagulation activities of the root extracts of *Fagara xanthoxyloides* plant.
 - [8] M. B. Ngassoum, J. J. Essia-Ngang, L. N. Tatsadjieu, L. Jirovetz, G. Buchbauer, O. Adjoudji, *Fitoterapia* 2003, 74, 3, 284-287. Antimicrobial study of essentials oils of *Ocimum gratissimum* leaves and *Zanthoxylum xanthoxyloides* fruits from Cameroon.
 - [9] L. N. Tatsadjieu, J. J. Essia Ngang, M. B. Ngassoum, F. X. Etoa, *Fitoterapia* 2003, 74, 5, 469-472. Antibacterial and antifungal activity of *Xylopiæ aethiopica*, *Monodora myristica*, *Zanthoxylum xanthoxyloides* and *Zanthoxylum leprieurii* from Cameroon.
 - [10] C. Menut, G. Lamaty, J. M. Bessiere, T. Molangui, J. G. Houenon, *Journal of essential oil research* 2000, 12, 1, 33-35. Aromatic plants of tropical West Africa. X. Volatile constituents of *Zanthoxylum zanthoxyloides* Lam leaves and fruit pericaps from Benin.
 - [11] W. N. Setzer, J. A. Noletto, R. O. Lawton, & W. A. Harber, *Molecular diversity* 2005, 9, 3-13. Leaf essential oil composition of five *Zanthoxylum* species from Monteverde, Costa-Rica.
 - [12] J. A. Pino, J. Agueero, R. Marbot, P. Fernandes, *Journal of essential oil research* 2005, 17, 4, 413-414. Composition of the essential oil of *Zanthoxylum Fagara* (L) Sargent from Cuba.

MATHÉMATIQUES-PHYSIQUE-CHIMIE ET APPLICATIONS

Formulation, Mechanical, Adhesion and Chemical Properties of Heat-Resistant Epoxy Siloxane Hybrid Paints

Moussa TAMBOURA¹, Anna M. MIKHAILOVA¹, Zoumana S TRAORÉ¹, Nah TRAORÉ¹, Mengqiu JIA²

¹ Département de chimie – Faculté des Sciences et Techniques – Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako

² State Key Laboratory of Chemical Resource Engineering, Key Laboratory of Beijing City on preparation and Processing of Novel Polymer Material, Beijing University of Chemical Technology (BUCT), Beijing

Corresponding Email address: moussatamboura@yahoo.fr

SUMMARY: An industrial epoxy siloxane resin was characterized by Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy, and formulated into four paint systems. Three different anticorrosion pigments such as micaceous iron oxide, zinc phosphate and aluminum oxide were used in different proportions. The recipes of paints were optimized by means of statistical tools. Using traditional methods, mechanical and adhesion properties of formulated paints have been determined at different temperatures for five full days continuous heating. Scanning Electron Microscopy (SEM) study of the surface of binder and non-heated formulated paints did not show any defect. Chemical resistance and electrochemical impedance spectroscopy (EIS) of formulated paints showed a maximum synergic effect in protective and anticorrosion capacity of pigments in some formulated paints.

Keywords: Hybrid organic-inorganic coatings; paint formulation; heat-resistant coatings; anticorrosion coatings, modified siloxane coatings

I. INTRODUCTION

Development of heat-resistant coatings designed to protect metallic surface against corrosion requires heat-resistant polymeric materials as binder [1]. Polysiloxanes or silicones are used as heat-resistant coating material since their first industrial production [2]. Because of their poor mechanical properties [3], low impact strength and the low adhesion properties [4], they are modified with different organic compounds. Much wider interest has been aroused by the development of copolymers of low-molecular-weight silicone having hydroxyl or alkoxy groups and alkyd, epoxy, polyester and acrylic resins containing functional groups. As expected, such coatings exhibit relatively low thermal resistance, but improved physico-mechanical properties, weatherability and high chemical resistance [5, 6]. Such materials also referred to as organic-inorganic hybrid materials are used as a binder for high performance coatings. Modified epoxy siloxane exhibit a superior physico-mechanical properties, good thermal stability and anticorrosion properties, easy processibility, good flexibility, durability, high ultraviolet, chemical and weather resistance [1]. However, the introduction of pigments and extenders in the paint system profoundly impacts on the function of binder [7]. Moreover, the application process also plays an important role in the overall properties of formulated paints. Consequently, one cannot forecast with precision what particular formulation is necessary for definite properties of coatings.

By sol-gel process of polysiloxane and epoxy resin, Liu et al [8] improved physico-mechanical and thermal properties of obtained material. Caprolactone was used as compatibilizer. Kahraman et al. [9] used sol-gel

process to enhance the physical, mechanical and thermal properties as well as the crosslinking density of UV-curable epoxy acrylate resin with methacryloxy propyl trimethoxy silane. Obtained product exhibited good mechanical and thermal properties. However, for coating applications, covalent bonded materials are required. Qian et al. [10] studied two-part epoxy-siloxane hybrid coating synthesized for corrosion protection of carbon steel. EIS and potentiodynamic polarization evaluation of protective and anticorrosion properties of this non-pigmented coating showed excellent physical barrier protection. However, obtained coating displayed low mechanical and poor adhesion properties. Using three kinds of ultrafine ceramic powder, Jia et al. [11] formulated into heat-resistant and anticorrosion paint an industrial epoxy siloxane HG-43 binder. Formulated two-layer 80 μm paints showed good thermal, mechanical, physical and anticorrosion properties. Recently, Yuan and coworkers used EIS technique to establish the “true” value of water uptake depending on the capacitance of silicone-epoxy hybrid coating on mild steel [12]. Mathiazaghan [13] reviewed the use of nanoparticles in coatings. It was confirmed that introduction of nanoparticles in the recipe of coatings enhances the performance of coatings. Yen et al. [14] studied polymer-clay nanocomposite formed from siloxane-modified epoxy resin and organic monolayer montmorillonite clay. In comparison to bulky epoxy resin, protective and anticorrosion properties as well as mechanical properties were improved. On the other hand, statistical tools also are used in coating formulation in order to optimize coating performance and reduce the number of experiment runs. With the aim of optimizing the formulation procedure of waterborne epoxy-based

coatings containing hardener, pigments such as zinc phosphate, iron oxide, talc and blanc fixe, and additives, Ranjbar S. et al. [15] used a special cubic model of the Design of Experiment. Special software was used. For ten conducted experimental runs, three samples with high content of zinc phosphate displayed an excellent adhesion to steel substrates.

According to the aforementioned, one can assume that the available data for the formulation of epoxy siloxane resin into paint are either associated with the evaluation of protective or corrosion resistance efficiency of one or two pigments in the epoxy siloxane binder, that has its structure kept secret by the manufacturer [11], or just the efficiency of synthesized epoxy siloxane binder with some anticorrosion pigments [9, 10]. Moreover, data about known binder structure and pigment efficiency in full formulation of paint are scarce. If this is not the case [1], modern techniques for assessing the anticorrosion properties such as EIS or equivalent methods are not used. The scientific literature contains little information about the anticorrosive and heat-resistant properties of epoxy siloxane hybrid paints [16]. Otherwise, it is known that the curing process of epoxy resin or modified epoxy resin is founded upon the opening of the oxirane ring by an active hydrogen atom from an amine or amide curing agent [17]. Such curing agents are generally aliphatic and cycloaliphatic amines [17, 18]. Then, the choice of an appropriate curing agent of the binder plays an important role. Liu et al studied the effect of curing agent molecular structures on corrosion behaviors of epoxy resin coatings [19]. The binder cured with the curing agent that acts as aliphatic or cycloaliphatic adduct, i.e. diethylenetriamine (DETA) and isophorone diamine (IPDA) showed the best anticorrosion properties. To overcome the nauseating odor and the solubility in water, a second anticorrosion coating-curing agent such as a polyaminoamide is added. In this article, we aimed to formulate a widely used industrial epoxy siloxane resin HG-43 [11, 20, 21] into heat-resistance and anticorrosion paints, using traditional barrier and inhibitive anticorrosion pigments such as micaceous iron oxide (MIO), zinc phosphate (ZP) and aluminum oxide (ALOX) [22]. A nanoparticle, i.e. nano-SiO₂, was used in the formulation in order to improve coating properties and to reduce required pigment amounts. The used curing agents are nontoxic. The statistic tool, such as "Design of Experiment" (DOE) was used to optimize the formulation content and to reduce the experiment runs. Thus, four paint systems were formulated. Although the structure of epoxy-siloxane HG-43 binder is kept in secret by the manufacturers, it was characterized by Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR). Using traditional methods, mechanical and adhesion properties were evaluated. Surface morphology of epoxy-siloxane HG-43 binder and that of formulated paints was studied by means of scanning electron microscopy (SEM). Protective and anticorrosion properties of the binder and paints were evaluated by the means of EIS.

II. EXPERIMENTAL

1.1. Material

According to the manufacturer, **Epoxy-siloxane HG-43** is a highly cross-linked network polysiloxane structure, usually with methyl trichlorosilane, dimethyl chlorosilane, phenyl trichlorosilane, dichlorosilane, diphenyl, methylphenyl dichlorosilane in a mixture of organic solvents such as toluene. It contains about 30 wt. % of solvent and 40 % of dry matter. **Polyamide curing agent ZY-650** is a kind of special polyamide epoxy hardener with high viscosity and density ρ_{ZY-650} of 0.97 ± 0.10 g/cm³ at 25°C. ZY-650 is generally used as hardener for epoxy zinc-rich coating and other epoxy coatings. The reactivity of polyamides with epoxies is similar to that of aliphatic amines. **Epoxy resin curing agent T31** is a brown and transparent mucus compound readily soluble in organic solvents such as ethanol and acetone, and slightly soluble in water. Such curing agent acts as polyaminoamide adduct.

Pigments, fillers and additives are listed in Table 1.

Table 1: Binder, pigments, fillers and additives

Component	Designation	Density, g.cm ⁻³	CAS*
Epoxy siloxane binder	HG-43	1.5	
Curing agent	T31	1.01-1.10	
Curing agent	ZY-650	0.97±0.01	
micaceous iron oxide	MOI	5.0	1309-37-1
zinc phosphate	ZP	4.0	1739-90-0
aluminum oxide	ALOX	4.0	1344-28-1
Silicon dioxide	SiO ₂	0.07	60676-86-0
Titanium dioxide	TiO ₂	3.6	13463-67-7
Mica	Mica	2.9	12001-26-2
Dispersing agent	BYK-180		

*CAS: Chemical Abstract Service

1.2. Characterization

Fourier Transform Infra-red spectroscopy (FT-IR) spectrum of epoxy siloxane binder were recorded on a Nexus 670 FT-IR (USA) spectrometer. The Hitachi S-4700 scanning electron microscope (Japan) was used to study the surface morphology of hybrid binder and formulated paints. Several steel panels with a dimension of 150 x 50 x 0.5 mm were prepared according to the standard GB 1727-89 "Paint films – General method for preparation" equivalent to ISO 1513-1992 "Paints and Varnishes – Examination and preparation of sample for testing" for the determination of mechanical, adhesion and chemical properties of coatings. Liquid paints were mixed on a QZM milling machine of Tianjin Coating Testing Machines Co. Ltd (China). Impact resistance of coatings was measured according to standard GB/T 1732-93 "Determination of paint film resistance to impact and the practical requirement of mechanical construction" equivalent to ISO 6272-2002 "Paints and Varnishes – Rapid Deformation (impact resistance) –

Part 2: Falling weight test, small-area indenter”, on a QCJ impact tester of Shenzhen Litengda Machines & Equipment Co. Ltd (China). The flexibility of coating was measured according to GB/T 1731-93 “Determination of flexibility of films” corresponding to ISO 1519-2002: “Paints and Varnishes – Bend test (cylindrical mandrel)”. Coated panels were tested on QTX paint film flexibility tester of Dongguan ZME Instrument Trading Co. Ltd (China). Coated film adhesion was measured according to GB/T 1720-79 (89) “Adhesive power measurement of coated film”. Coated panel is clamped to horizontal sliding panel of the apparatus. An electric film adhesion tester HZ-9008A of Dongyuan Lixian Instrument Scientific Co. Ltd (China) was used. Chemical resistance of HG-43 binder and paints was performed according to ISO 4628-1988 “Evaluation of Degradation of Paint Coatings – Designation of Intensity, Quantity and Size of Common Types of Defects”. Coated and dried panels were placed in glass tanks containing different acidic, alkaline and salt solutions as well as organic solvents solutions having various concentrations. Coated panels were immersed for seven days. Using a coating Thickness Gauge TT220 of Time Group Inc. (Beijing, China), the coating thickness was measured. Data from EIS evaluation on the Electrochemical Work Station IM6e Zahner Elektrik of coated sample immersed in an electrolyte, e.g. 3.5 wt. % NaCl were modeled. As result of modeling, an electrical circuit built from ordinary resistors and capacitors is made up. Thus, any change in the value of electrical components of the circuit reflects the behavior of the coating system under study. Using a commercial software ZsimpWin 3.10, obtained data from Bode and Nyquist plots were fitted in electrical equivalent circuits (EEC). Resistance and capacitance values were determined for HG-43 binder and formulated paints.

1.3. Paint formulation of epoxy-siloxane HG coatings with curing agents

For paint formulation, the critical pigment volume concentration (CPVC) and the oil absorption value (OA) of MIO, ZP and ALOX were determined in linseed oil according to ISO 787-5-1980 “General methods of test for pigments and extenders – Part 5” and tabulated in Table 2.

According to GB 1727-89, optimal amount of T31 and ZY-650 for the curing of HG-43 were determined. The coated panels were exposed in ambient air for curing. Dry to touch (DTT) and dry to hard (DTH) times were recorded. After curing, general coating properties, such as impact resistance, flexibility and adhesion were determined according to GB/T 1732-93, GB/T 1731-93 and GB/T 1720-79 (89), and then listed in Table 3.

Table 2: AO and CPVC of pigments

Pigments	Density, g/cm ³	OA, g/100g	CPVC, %
MIO	5.0	19.14	49.28

z.p.	4.0	28.92	44.57
al.ox.	4.0	50.04	31.72

From Table 3, the composition N°3 shows the better mechanical and adhesion performance and relatively limited time of curing. Thus, the binder and curing agents that have been used for paint formulation have the following content: 10.0 g of HG-43, 0.4 g of T31 and 0.3 g of ZY-650.

Table 3: Mechanical and adhesion properties of HG-43 resin cured with T31 and ZY-650

	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5
HG-43, g	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
T31, g	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
ZY-650	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Impact resistance, cm.kg	50	50	50	50	50
Flexibility, grade	1	1	1	1	1
Adhesion, grade	2	2	1	2	2
DTT, hr	6	6	7	7	8
DTH, hr	162	168	168	168	180

1.4. Formulation of epoxy-siloxane HG preliminary paints

According to Equation (1) and 5%, 10%, 15%, 20%, 25% of PVC less than CPVC, required amounts of MIO, ZP and ALOX were calculated and tabulated in Table 4. ρ_{HG-43} , ρ_{T31} and ρ_{ZY-650} are respectively the density of epoxy-siloxane HG-43 binder, the epoxy-resin curing agent T31 and the polyamide-curing agent ZY-650. $\rho_{pigment}$, the density of pigment is listed in Table 1. m_{HG-43} , m_{T31} , and m_{ZY-650} are respectively the mass of HG-43, T31 and ZY-650.

$$m_{pigment} = \frac{PVC \left(\frac{m_{HG-43}}{\rho_{HG-43}} + \frac{m_{T31}}{\rho_{T31}} + \frac{m_{ZY-650}}{\rho_{ZY-650}} \right)}{\frac{1}{\rho_{pigment}} - \frac{PVC}{\rho_{pigment}}} \quad (1)$$

Table 4: Pigment amount for preliminary paint systems

PVC, %	5	10	15	20	25	30
m.i.o	1.8	3.8	6.1	8.4	11.6	14.9
z.p.	1.5	3.1	4.9	6.9	9.3	11.9
al.ox	1.5	3.1	4.9	6.9	9.3	11.9

In accordance with PVC, several preliminary paints were formulated and subjected to mechanical, adhesion and chemical tests in order to select the best formulation. MIO, ZP and ALOX preliminary paints with 10% PVC displayed excellent mechanical, adhesion properties; and good chemical resistance. They were then chosen for the formulation of paints including all barrier and inhibitive anticorrosion pigments.

1.5. Formulation of epoxy-siloxane HG paints with a combination of pigments

With the aim to combine three different anticorrosion pigments such as MIO, ZP and ALOX in paint

formulation in order to benefit their maximum effect, an optimization approach, such as “design of experiment” or DOE was used. Scheffé quadratic model is the commonly used model for mixture experiments [23]. According to Prescott [24], a simplex-lattice with 10 experimental runs can be used for three ingredient systems. This model was adapted to this study because only the amounts of three pigments, i.e. MIO, ZP and ALOX are variables. It should be noted that all the pigments must be present in the paint system for each experimental run. Thus, only 4 experiments were run as shown in Table 5. It is clear that all the pigments are present only in the experiments run N°7, 8, 9 and 10, i.e. four runs. Thus, these coefficients have been used in the paint formulation. 0.3 g of nano-SiO₂, 1.0 g of TiO₂ and 0.5 g of mica were added to 10.0 g of HG-43, 0.4 g of T31 and 0.3 g of ZY-650. Two drops of BYK-180 have been added, and obtained liquid paints were mixed in QZM milling machine. The pigment/binder ratio is about 1:0.7. According to the provider, HG-43 binder contents 30% of solvent. Its dry matter determined in the laboratory is 42.69%. Table 6 shows the recipe of the four different formulated anticorrosion epoxy siloxane HG paints. Paints were referred to as HG-1, HG-2, HG-3 and HG-4. It should be mentioned that HG-1 contains almost the same quantity of MIO, ZP and ALOX, while HG-2 is rich in ZP, HG-3 in MIO and HG-4 ALOX. The coating thickness is about 26 µm.

Table 5: Interpretation of ternary graph

N°	MIO	ZP	ALOX
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1
4	1/2	1/2	0
5	1/2	0	1/2
6	0	1/2	1/2
7	1/3	1/3	1/3
8	1/6	2/3	1/6
9	2/3	1/6	1/6
10	1/6	1/6	2/3

Table 6: Recipe of epoxy siloxane HG paints

	HG-1	HG-2	HG-3	HG-4
PVC, %	42.77	42.81	42.73	42.81
HG	62.8	63.2	61.9	63.2
T31	2.5	2.5	2.5	2.5
ZY-650	1.9	1.9	1.9	1.9
MOI	7.9	4.0	15.6	4.0
ZP	6.5	13.1	3.2	3.3
ALOX	6.5	3.3	3.2	13.1
SiO ₂	1.9	1.9	1.9	1.9
TiO ₂	6.3	6.3	6.2	6.3
Mica	3.1	3.2	3.1	3.2
BYK-180	0.6	0.6	0.6	0.6
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

Pigment volume concentrations of HG paints were calculated according Equation (2) and listed in Table 6.

PVC

$$= \frac{\frac{m_{\text{mio}}}{\rho_{\text{mio}}} + \frac{m_{\text{zp}}}{\rho_{\text{zp}}} + \frac{m_{\text{alox}}}{\rho_{\text{alox}}}}{\frac{m_{\text{HG-43}}}{\rho_{\text{HG-43}}} + \frac{m_{\text{T31}}}{\rho_{\text{T31}}} + \frac{m_{\text{ZY-650}}}{\rho_{\text{ZY-650}}} + \frac{m_{\text{mio}}}{\rho_{\text{mio}}} + \frac{m_{\text{zp}}}{\rho_{\text{zp}}} + \frac{m_{\text{alox}}}{\rho_{\text{alox}}}} \quad (2)$$

where m_{mio} , m_{zp} and m_{alox} are respectively the masses of MIO, ZP and ALOX. ρ_{mio} , ρ_{zp} and ρ_{alox} are the densities of MIO, ZP and ALOX, respectively.

III. RESULTS AND DISCUSSIONS

1.6. Characterization of epoxy-siloxane HG-43 binder by FT-IR

Although HG-43 binder is an industrial product whose content is kept secret, FT-IR analysis of this binder may provide more information about its structure.

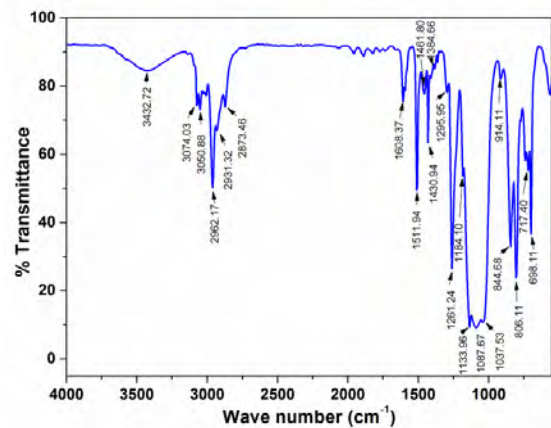


Fig. 1: FR-IR spectrum of epoxy-siloxane HG-43
s-strong, vs-very strong, m-medium, w-weak, wm – weak medium

Oxirane ring in epoxy-siloxane is characterized by the absorption peaks at 972.4-914.11 cm⁻¹ and 1384.66 cm⁻¹ ((CH₃)₂C) [1]. Peak at 972.4 cm⁻¹ is overlapped by Si-O-Si absorption at 1130-950 cm⁻¹ [25-27]. Absorption at 3050.88, 2931.32, 1608.37 and 1511.94 cm⁻¹ confirm the presence of aromatic ring in the structure of epoxy-siloxane HG-43. Absorption peaks at 1261.24 cm⁻¹ and 2958 cm⁻¹ (overlapped) confirm the presence of Si-CH₃ in the structure. Peak at 844.68 cm⁻¹ characterizes the presence of (CH₃)₂-Si(O)₂. One can assume that epoxy siloxane HG-43 contains bifunctional and trifunctional siloxane as recommended for use as siloxane in coating technology [28]. Peaks at 1295.95 and 1184.10 cm⁻¹ attest the presence of C-O-C of aryl alkyl ether. Thus, one can expect the presence of hydrogen bonds which is responsible for good mechanical properties of coatings [29]. Besides oxirane groups, OH group is characterized by the peak at 3432.72 cm⁻¹. Thus, epoxy siloxane resin is able to be cured by amine or polyamide curing agents. One can assume that epoxy-siloxane HG-43 is suitable for coating formulation.

1.7. Chemical, Mechanical and adhesion properties

Preliminary ZP, MIO and ALOX paints were subjected to mechanical and adhesion tests according to standards and then formulated to HG paints. Table 7 shows the results of chemical resistance, mechanical and adhesion tests.

All paint systems showed excellent impact resistance, flexibility and adhesion properties. HG paints showed good resistance to acidic and alkali solutions with low concentration. They were not affected by water, inorganic and organic acids, alkalis and salts with low concentration. HG paints were affected by hydrochloric, sulfuric and acetic acids with high concentration. They were seriously affected by nitric acid with low and high concentration. Comparing chemical resistance of HG paints, one can assume that HG-1 containing all pigments at the same amount, i.e. MIO, ZP and ALOX, exhibited better chemical properties.

Table 7 : Chemical resistance, mechanical and adhesion properties of HG paints

	HG-1	HG-2	HG-3	HG-4
Mechanical and adhesion properties				
Impact resistance, cm.kg	50	50	45	45
Flexibility, grade	1	1	1	1
Adhesion, grade	1	1	1	2
DTT, hr	3	3	3	3
DTH, hr	120	120	120	120
Chemical resistance*				
NaOH(30 wt%)	1	1	1	2
NaOH(10 wt%)	0	0	0	0
NaCl(5 wt%)	0	0	1	1
NaCl(3.5 wt%)	0	0	0	0
HCl(30 wt%)	2	2	3	3
HCl(10 wt%)	1	1	1	1
H ₃ PO ₄ (30 wt%)	1	1	1	1
H ₃ PO ₄ (10 wt%)	0	0	0	0
H ₂ SO ₄ (30 wt%)	1	1	1	2
H ₂ SO ₄ (10 wt%)	1	0	1	1
CH ₃ COOH(30 wt%)	1	1	2	2
CH ₃ COOH(10 wt%)	0	0	0	0
HNO ₃ (30 wt%)	3	3	4	5
HNO ₃ (10 wt%)	2	2	3	4
H ₂ O	0	0	0	0

*For chemical resistance: 0- none, 1-less than few, 2-few, 3-medium, 4-medium dense and 5-dense, according to ISO 4628-1988.

HG-43 binder and paints were continuously heated at different temperatures and times (until five days) and then subjected to mechanical and adhesion tests. Table 8 reported some results of these tests. HG-43 binder showed excellent mechanical and adhesion properties at temperatures ranges from 180°C to 250°C for 2 hours of exposure. At temperatures higher than 250°C, impact resistance, flexibility and adhesion strength dropped and

became very low with long-time exposure. At 350°C, HG-43 binder cracked.

HG paint samples withstood temperature up to 250°C for 24 hours. At long-time exposure and elevated temperatures, impact resistance, flexibility and adhesion strength dropped. However, HG-2 rich in zinc phosphate and HG-3 rich in micaceous iron oxide showed good mechanical and adhesion properties at 180°C for five days of exposure.

Table 10: Mechanical and adhesion properties of HG-43 binder and paints heated at different temperatures and times

		180°C			250°C			350°C		
	Time, h	A	B	C	A	B	C	A	B	C
HG-43	2	45	1	1	45	1	1	35	1	1
	24	50	1	1	35	2	2	25	4	3
	120	40	2	2	20	3	3	10	5	6
HG-1	2	45	1	1	50	1	1	40	1	1
	24	50	1	1	50	1	2	30	3	3
	120	45	2	2	35	2	3	15	5	5
HG-2	2	50	1	1	50	1	1	40	2	2
	24	50	1	1	40	2	1	25	3	4
	120	45	1	1	30	2	3	15	5	6
HG-3	2	50	1	1	50	1	1	40	2	2
	24	50	1	1	50	1	1	30	3	5
	120	45	1	1	40	2	2	15	6	7
HG-4	2	50	1	1	50	1	1	40	2	2
	24	50	1	1	45	1	1	25	3	5
	120	45	1	2	35	2	2	10	6	7

A-Impact resistance (cm.kg); B-Flexibility (grade); C-Adhesion (grade)

1.8. Morphology of HG-43 binder and paints

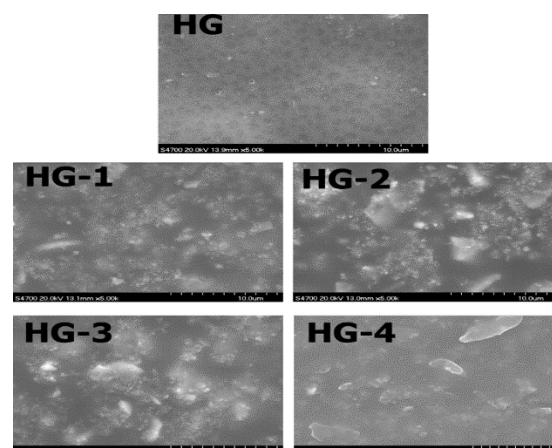


Fig. 2: SEM images of epoxy siloxane HG-43 binder and paints

The surface morphology of epoxy siloxane HG-43 binder and that of the paint systems were studied by SEM. Figure 2 shows the fine pigment particles uniformly dispersed in the paint systems. Their surfaces do not betray any hole. Thus, this binder and its paints present excellent anticorrosion properties.

1.9. Protective and anticorrosion properties of HG-43 binder and paints – EIS measurement

EIS evaluation of protective and anticorrosion resistance of HG-43 binder and paints was performed on Electrochemical Work Station IM6e Zahner Elektrik. The Bode and Nyquist plots were obtained and corresponding EEC associated with the impedance data such as a Randles-like cell model was built [30]. This corresponds to the EEC shown in Fig. 3. It should be noted that the EEC in Fig. 3 corresponds to the EEC of all HG paints for all immersion time, even if the values of R_e , C_e (Q_e) and R_c changes with immersion.

At long immersion periods, HG-43 binder showed two time constants on the Nyquist plots, indicating the delamination. Thus, a double layer capacitance and a charge transfer resistance appear on the EEC as a result of corrosion. It can be written as $R_e(C_e(R_c(C_{dl}R_{ct})))$ as illustrated in Fig. 5. Thus, one can assume that HG-43 binder withstood to corrosion only at the beginning of immersion, while all HG paints were resistant to corrosion during all the immersion period.

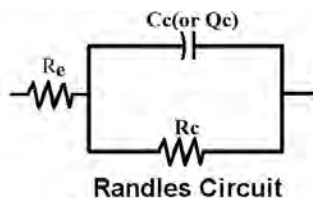


Fig.3: Equivalent electric circuit (one time constant)

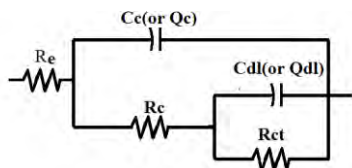


Fig. 4: Equivalent electric circuit (two time constants)

Using R_e and C_e obtained from EIS data, the protection capacity of coating such as the value of the total impedance at the frequency of 0.1 Hz for 21 days of immersion, referred to as $Z_{0.1Hz}$ [31, 32] was determined. It should be noted that $Z_{0.1Hz}$ is used as a good indicator of protective capacity of coating. If $Z_{0.1Hz}$ is greater than $10^8 \Omega \cdot \text{cm}^2$, coating is considered as excellent providers of protection. If $Z_{0.1Hz}$ is less than $10^6 \Omega \cdot \text{cm}^2$, coating is classified as poor providers of protection [32-34]. As shown in Fig. 5, HG-1 exhibited the highest value of $Z_{0.1Hz}$. It can be assumed that there is a maximum synergic effect of anticorrosion pigment in HG-1 paint. Thus, using DOE, one can make paint with a maximum synergic effect of anticorrosion pigments. On the other hand, in accordance with $Z_{0.1Hz}$ values, HG-43 binder and all HG paints are excellent providers of protection.

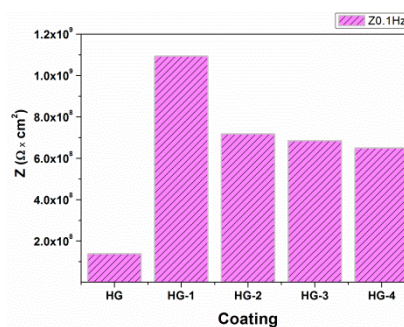


Fig. 5: Total impedance value of HG-43 binder and paints at the frequency of 0.1Hz ($Z_{0.1Hz}$) for 21st day of immersion

IV. CONCLUSION

A widely used industrial epoxy siloxane binder HG-43 has been characterized and formulated to heat-resistant and anticorrosion paints using ordinary anticorrosion pigments and non-toxic curing agents. All steps of the formulation were clearly described and can be proposed as a procedure of full formulation of epoxy siloxane into paints. Formulation process was optimized by the use of statistical tools, such as design of experiments. Formulated paints exhibited excellent mechanical and adhesion properties as well as good chemical resistance, especially the paint having all pigments in the same quantity. Paint rich in aluminum oxide showed the best thermal resistance. The best combination of anticorrosion pigments provided the maximum synergic of anticorrosion capacity of pigments in the paint. All formulated paints showed excellent mechanical, thermal and anticorrosion properties.

REFERENCE

- [1] S. Ahmad, A.P. Gupta et al., "Synthesis, characterization and development of high performance siloxane-modified epoxy paints.", *Prog. Org. Coat*, vol 54(2), 2005pp. 248-255.
- [2] M.A. Brook, "Silicones," in *Silicon in Organic, Organometallic and Polymer Chemistry*, B.M.J. Matison, Editor., Wiley: New York. 2000, pp. 256-308.
- [3] T.L. Smith, "Strength of Elastomers. A Perspective," *Rubber Chem. Technol.*, vol 51, 1978, pp. 225-252
- [4] V.A. Molotova, *Industrial applications of silicone coatings*, ed. Khimiya, Moscow, 1978
- [5] A.M. Mikhailova, M. Tamboura, M.Q. Jia, "Heat-resistant and Anticorrosion Urethane-Silicone-based Coatings," *Silicon*, vol 4, 2012, pp. 197-208
- [6] M.A. Mikhailova, M. Tamboura, M.Q. Jia, "Synthesis, characterization and analyses of mechanical, adhesion and thermal properties of polysiloxane resin modified with segmented

- polyurethane,” *J. Coat. Techn. Res.*, Vol 10:1, 2012, pp. 97-108
- [7] R. Lambourne, T.A. Srtivens, *Paint and Surface Coatings*, 2 ed., Cambridge, 1999
- [8] P. Liu, J. Song, et al, “Alkoxysilane functionalized polycaprolactone/polysilane modified epoxy resin through sol-gel process,” *Eur. Polym. J.*, vol 44, 2008, pp. 940-951
- [9] M.V. Kahraman, M. Kugu, Y. Menciloglu, N. Kayaman-Apohan, A. Gungor, “The novel use of organo alkoxy silane for the synthesis of organic-inorganic hybrid coatings,” *J. Non-Cryst. Solids*, vol 352, 2006, pp. 2143-2151
- [10] M. Qian, A.M. Soutar, et al, “Two-part epoxy-siloxane hybrid corrosion protection coatings for carbon steel,” *Thin Solid Films*, vol 517:17, 2009, pp. 5237-5242
- [11] M. Jia, H. Bai, J. Wang, “Heat Resistance of Anti-Corrosion Epoxy-Silicone Resin Coating,” *Materials Protection*, vol 36:4, 2003, pp. 54-59
- [12] X.Y. Yuan, Z. F. Chen, X. Wen, S. F. Li, L. Feng, “EIS study of effective capacitance and water uptake behaviors of silicone-epoxy hybrid coatings on mild steel,” *Prog. Org. Coat.*, vol 86, 2015, pp. 41-48
- [13] A. Mathiazhagan, R. Joseph, “Nanotechnology - A new Prospective in Organic Coating – Review,” *EJCEA*, vol 2:4, 2011, pp. 225-237
- [14] J.M. Yen, H.Y. Huang et al, “Siloxane-modified epoxy resin-clay nanocomposite coating with advanced corrosion properties prepared by a solution dispersion approach,” *Surf. Coat. Technol.*, vol 20:8, 2006, pp. 2753-2763
- [15] Z. Ranjbar, S. Montazeri, M. Jalili, “Optimization of waterborne Epoxy coatings formulation via experimental design,” *Prog. Color Colorant Coat.*, vol 2, 2009, pp. 23-33
- [16] I. Díaz, B. Chico, D. De la Fuente, J. Simancas, J.M. Vega, M. Morcillo, “Corrosion resistance of new epoxy-siloxane hybrid coatings. A laboratory study,” *Prog. Org. Coat.*, vol 69, 2010, pp. 278-286
- [17] B. Muller, U. Poth, “Coating formulation: An international textbook,” Hannover, Germany: Vincentz, 2006
- [18] P.A. Sorensen, S. Kiil, K. Dam-Johansen, C.E. Weinel, “Anticorrosive Coatings: a review,” *J. Coat. Technol. Res.*, vol 6:2, 2009, pp. 135-176
- [19] D. Liu et al., “Effect of curing agent molecular structures on the tribological and corrosion behaviors of epoxy resin coatings,” *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol 472, 2015, pp. 85-91
- [20] H. Liu, P.J. Feng, D.E. Zhang, “Oil resistant (solvent), heatproof static conducting anti-corrosive paint and preparation thereof,” Google Patents, 2009
- [21] X. Li et al, “Study on formulation of heat-resistant epoxy-modified silicone coating,” *Electroplating & Finishing*, vol 34:10, 2015, pp. 538-541
- [22] A. Kalendova, D. Vesely, P. Kalenda, “A study of the effects of pigments and fillers on the properties of anticorrosive paints,” *Pigment & Resin Technology*, vol 35:2, 2006, pp. 83-94
- [23] P. Goss, B. Jones, “Optimal Design of Experiment - A Case Study Approach,” ed. L. John Wiley and Sons, Chichester, UK, 2011
- [24] P. Prescott, “Modelling in Mixture Experiments Including Interactions with Process Variables,” *Quality Technology & Quantitative Management*, vol 1:1 2004, pp. 87-103
- [25] C.J. Brinker, A.J. Hurd, P.R. Shunrk, G.C. Frye, C.S. Ashley, “Review of sol-gel thin film formation,” *J. Non-Cryst. Solids*, vol 147, 1992, pp. 424-436
- [26] A.L. Smith, “Infrared spectra-structure correlations for organosilicon compounds,” *Spectrochimica Acta*, vol 76:1-2, 1960, pp. 87-105
- [27] S. Vitry, A. Mezzino, et al, “Hybrid copolymer latexes cross-linked with methacryloxy propyl trimethoxy silane. Film formation and mechanical properties,” *Comptes Rendus Chimie*, vol 6:11, 2003, pp. 1285-1293
- [28] M.H. Mazurek, “Silicones” in *Comprehensive Organometallic Chemistry*, R.H. Crabtree, Michael, D., Mingos, P., Ed., Elsevier Ltd, 2007, pp. 551-697
- [29] A.K. Mishra, D.K. Chattopadhyay, B. Sreedhar, K.V.S.N. Raju, “FT-IR and XPS studies of polyurethane-urea-imide coatings,” *Prog. Org. Coat.*, vol 55:3, 2006 pp. 231-243
- [30] D. Loveday, P. Peterson, B. Rodgers, “Evaluation of organic coatings with electrochemical impedance spectroscopy. Part 1, 2 and 3,” in *JCT coatings tech.*, 2005
- [31] W.M. Bos, G.M. Ferrari, J.H.W. De Wit, “Determination of degradation mechanisms of organic coatings in Corrosion and Protection in High Technology Era,” P. Eurocorr Ed., Beijing, 2005
- [32] M. O'Donoghe, R. Garrett, V. Datta, P. Roberts, T. Abens, “Electrochemical Impedance Spectroscopy: Testing Coating for Rapid Immersion service,” in *Coatings & Linings*, Houston. 2003
- [33] K.N. Allahar, B.R. Hinderliter, G.P. Bierwagen, D.E. Galoman, S.G. Croll, “Cyclic wet drying of an

epoxy coating using an ionic liquid,” *Prog. Org. Coat.*, vol62:1, 2008, pp. 87–95.

[34] W.K. Asbeck, M. Van Loo, “Critical pigment-volume relationships,” *Ind. Eng. Chem.*, vol 41, 1949, pp. 1470-1475.

Jaugeage des mélanges de même espèce chimique

Bréhima Dembélé

Pharmacie du Nouveau Pont, Kayes

Contact: nouvpont@orangemali.net

Abstract

Le mélange peut être défini comme une étape spécifique des processus physiques inverses de la séparation et le produit qui s'y trouve engendré. Cet article consiste à analyser les formules mathématiques utilisées pour le mélange des solutions de même espèce chimique à partir du cas de l'éthanol (coupage et mouillage).

Tout mélange de solutions de même espèce chimique est le siège de réarrangement en ses constituants occasionnant une variation de masse totale, dans un système physique non isolé.

Avec le dégagement des gaz dissouts, la contraction de volume et l'exothermie lors du coupage et du mouillage d'alcool, nous avons conjecturé que le système physique en question n'étant pas isolé, le titre final du mélange en conséquence diminuerait.

Pour rétablir l'équilibre du bilan masse-énergétique, notre technique de jaugeage consiste à augmenter la masse de soluté de la solution finale à volume et masse constants. Pour ce faire, le volume de l'alcool de titre alcoolique centésimal fort est accru aux dépens de celui de l'alcool de titre alcoolique centésimal faible, tout en maintenant constants la masse et le volume du mélange.

Nous démontrons par ailleurs que la conformation de mélange pour que le titre, la masse et le volume se conservent à la fois n'est pas unique.

Keywords Mélange, Solution, Alcool, Contraction, Jaugeage.

1 Introduction

Nombreuses opérations pharmaceutiques, cosmétiques, diététiques et tant d'autres de

chimie-physiques font appel à la notion de mélange des solutions de même espèce chimique. Pour la plupart et en pratique courante, des techniques non forcément rigoureuses sont utilisées telles que l'alligation médiale, l'alligation alterne, tic-tac-toe de même que certains coupages d'alcool (mélange de plusieurs solutions d'alcool) et mouillages (mélange d'une solution d'alcool et d'eau) ne tenant pas compte de la densité [5], [6], [7], [8].

De façon classique, les volumes non nuls d'alcool de titre fort $T_1 \neq 0$ et de titre faible T_2 à mélanger sont respectivement v_1 et v_2 pour préparer v_i le volume du mélange de titre intermédiaire $T_i \neq 0$ [1], [2], [3], [9].

$$\begin{cases} v_1 = b_1 v_i \\ v_2 = b_2 v_i \\ b_1 = \frac{d_2 T_i - d_i T_2}{d_2 T_1 - d_1 T_2} \\ b_2 = \frac{d_i T_1 - d_1 T_i}{d_2 T_1 - d_1 T_2} \\ d_2 T_1 - d_1 T_2 \neq 0 \end{cases} \quad (1)$$

où, à température fixée généralement à 15 ou 20 degrés Celcius

T_1 est le titre alcoolique centésimal $\mathbf{v}/v$ de l'alcool de titre fort à prélever ($\mathbf{v}/v$ se lit volume-volume);

T_i est le titre alcoolique centésimal $\mathbf{v}/v$ de l'alcool de titre intermédiaire à préparer;

T_2 est le titre alcoolique centésimal $\mathbf{v}/v$ de l'alcool de titre faible à prélever;

d_1 est la densité relative de l'alcool de titre alcoolique centésimal fort;

d_i est la densité relative de l'alcool de titre alcoolique centésimal intermédiaire;

d_2 est la densité relative de l'alcool de titre alcoolique centésimal faible;

retenons pour l'éthanol que $0 < d_1 < d_i < d_2$ et $0 \leq T_2 < T_i < T_1 \leq 100$ [4], [3], [9].

L'exothermie et le dégagement des gaz dissouts

lors de la contraction de volume étant donnés, nous avons conjecturé qu'à la fin du processus de mélange le titre de la solution baisse, dans ma thèse de doctorat en pharmacie diplôme d'état [1].

Pour rétablir l'équilibre du bilan masse-énergétique nous avons suggéré d'augmenter la masse d'alcool absolu dans la solution finale à volume constant, partant du postulat de conservation du volume. Nous avons résolu ce problème aussi bien mathématiquement

$$\begin{cases} V_1 = v_1 + \alpha_1 X \\ V_2 = v_2 + \alpha_2 X \\ 0 \leq X < v_2 \\ \alpha_1 + \alpha_2 = 0 \end{cases} \quad (2)$$

que gualéniquement pour le cas de 2 solutions d'éthanol à mélanger ; V_1 et V_2 sont les volumes jaugés ; X , α_1 , α_2 , sont des nombres réels non nuls [1].

Mais ce postulat sur le volume étant difficilement réalisable, nous avons opté ici de le généraliser : la conservation de la masse-énergie.

$$\begin{cases} V_1 d_1 = v_1 d_1 + \alpha_1 d_1 k X \\ V_2 d_2 = v_2 d_2 + \alpha_2 d_1 k X \\ \alpha_1 + \alpha_2 = 0 \end{cases} \quad (3)$$

avec k un nombre réel non nul.

2 Cas général à n solutions

L'application du postulat de la conservation de la masse dans un système physique isolé impose 3 conditions aux limites, au cours du processus de mélange :

- La masse de la solution hydro-alcoolique S_i à préparer de titre alcoolique centésimal T_i est la somme des masses des solutions hydro-alcooliques constituantes $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ de titres alcooliques centésimaux respectivement décroissants $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ et de volumes respectifs $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$:

$$d_1 v_1 + d_2 v_2 + d_3 v_3 + \dots + d_n v_n = d_i v_i \quad (4)$$

- La masse de soluté S_0 (alcool pur) de densité relative d dans la solution intermédiaire S_i à préparer de titre alcoolique centésimal T_i est la somme des masses de soluté dans les solutions hydro-alcooliques constituantes $S_1, S_2,$

$S_3, \dots, S_n$ de titres alcooliques centésimaux respectivement décroissants $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ et de volumes respectifs $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$:

$$\frac{d}{100}(T_1 v_1 + T_2 v_2 + T_3 v_3 + \dots + T_n v_n) = \frac{d}{100} T_i v_i \quad (5)$$

- La masse de solvant (eau pure) dans la solution intermédiaire S_i à préparer de titre alcoolique centésimal T_i est la somme des masses de solvant dans les solutions hydro-alcooliques constituantes $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ de titres alcooliques centésimaux respectivement décroissants $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ et de volumes respectifs $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$:

$$\left(d_1 - \frac{T_1 d}{100}\right) v_1 + \left(d_2 - \frac{T_2 d}{100}\right) v_2 + \dots + \left(d_n - \frac{T_n d}{100}\right) v_n = \left(d_i - \frac{T_i d}{100}\right) v_i \quad (6)$$

où d_j , avec $j \neq i$, est la densité relative de l'alcool de titre alcoolique centésimal T_j ; $j = 1, 2, 3, \dots, n$

Ainsi, dans un tel système physique isolé, nous pouvons poser :

$$\begin{cases} d_1 v_1 + d_2 v_2 + d_3 v_3 + \dots + d_n v_n - d_i v_i = 0 \\ T_1 v_1 + T_2 v_2 + T_3 v_3 + \dots + T_n v_n - T_i v_i = 0 \\ \left(d_1 - \frac{T_1 d}{100}\right) v_1 + \dots + \left(d_n - \frac{T_n d}{100}\right) v_n - \left(d_i - \frac{T_i d}{100}\right) v_i = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Du calcul des volumes classiques $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$ nous trouvons les volumes jaugés $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ à prélever comme suit :

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n V_j d_j = \sum_{j=1}^n v_j d_j + d_1 k X \sum_{j=1}^n \alpha_j \\ \sum_{j=1}^n \alpha_j = 0 \\ 0 < k \leq 1 \\ \alpha_j \in \mathbf{R}^* \\ \mathbf{R}^* = \text{ensemble des nombres réels non nuls} \\ V_j > 0 \end{cases} \quad (8)$$

X est un volume hypothétique dont l'ajout en alcools de titres forts et le retrait en alcools de titres faibles serait juste suffisant pour établir l'équilibre recherché, si le volume se conservait [1] :

$$V_j = v_j + \alpha_j X$$

Analytiquement, les systèmes [7] et [8] admettent une infinité de solutions, à $j \geq 4$. Si m est la variation de masse au cours du mélange, alors calculons k sachant que $\beta \neq 0$ est un facteur de précision comme suit :

$$\begin{cases} 100 \text{ cm}^3 \text{ de solution } S_i \rightarrow \beta T_i \text{ cm}^3 \text{ de } S_0 \rightarrow \beta T_i d \text{ g de } S_0 \leftrightarrow \delta_1 \text{ g de } S_0 \\ \delta_1 = T_i d - \beta T_i d \\ v_i \text{ cm}^3 \text{ de solution } S_i \rightarrow \beta \frac{T_i v_i}{100} \text{ cm}^3 \text{ de } S_0 \rightarrow \beta \frac{T_i v_i d}{100} \text{ g de } S_0 \leftrightarrow m \text{ g de } S_0 \end{cases} \quad (9)$$

$$m = \delta_1 \frac{v_i}{100} \quad (10)$$

$$m = \frac{T_i v_i d(1 - \beta)}{100} \quad (11)$$

Calculons les masses de soluté S_0 contenues dans le volume $\alpha_1 kX$ en alcool S_1 de titre alcoolique centésimal T_1 , dans le volume $\frac{d_1}{d_2} \alpha_2 kX$ en alcool S_2 de titre alcoolique centésimal T_2 , dans le volume $\frac{d_1}{d_3} \alpha_3 kX$ en alcool S_3 de titre alcoolique centésimal T_3 , ainsi de suite jusque dans le volume $\frac{d_1}{d_n} \alpha_n kX$ en alcool S_n de titre alcoolique centésimal T_n .

$$\left\{ \begin{array}{l} 100 \text{ cm}^3 \text{ de solution } S_1 \rightarrow T_1 \text{ cm}^3 \text{ de } S_0 \\ \rightarrow T_1 d \text{ g de } S_0 \\ \alpha_1 kX \text{ cm}^3 \text{ de solution } S_1 \rightarrow \frac{\alpha_1 T_1}{100} kX \text{ cm}^3 \\ \text{de } S_0 \rightarrow \frac{\alpha_1 T_1 d}{100} kX \text{ g de } S_0 \end{array} \right. \quad (12)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 100 \text{ cm}^3 \text{ de solution } S_2 \rightarrow T_2 \text{ cm}^3 \text{ de } S_0 \\ \rightarrow T_2 d \text{ g de } S_0 \\ \frac{d_1}{d_2} \alpha_2 kX \text{ cm}^3 \text{ de solution } S_2 \rightarrow \frac{\alpha_2 T_2 d_1}{100 d_2} kX \text{ cm}^3 \text{ de } S_0 \\ \rightarrow \frac{\alpha_2 T_2 d_1 d}{100 d_2} kX \text{ g de } S_0 \end{array} \right. \quad (13)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 100 \text{ cm}^3 \text{ de solution } S_3 \rightarrow T_3 \text{ cm}^3 \text{ de } S_0 \\ \rightarrow T_3 d \text{ g de } S_0 \\ \frac{d_1}{d_3} \alpha_3 kX \text{ cm}^3 \text{ de solution } S_3 \rightarrow \frac{\alpha_3 T_3 d_1}{100 d_3} kX \text{ cm}^3 \text{ de } S_0 \\ \rightarrow \frac{\alpha_3 T_3 d_1 d}{100 d_3} kX \text{ g de } S_0 \end{array} \right. \quad (14)$$

...

$$\left\{ \begin{array}{l} 100 \text{ cm}^3 \text{ de solution } S_n \rightarrow T_n \text{ cm}^3 \text{ de } S_0 \\ \rightarrow T_n d \text{ g de } S_0 \\ \frac{d_1}{d_n} \alpha_n kX \text{ cm}^3 \text{ de solution } S_n \rightarrow \frac{\alpha_n T_n d_1}{100 d_n} kX \text{ cm}^3 \text{ de } S_0 \\ \rightarrow \frac{\alpha_n T_n d_1 d}{100 d_n} kX \text{ g de } S_0 \end{array} \right. \quad (15)$$

Nous pouvons poser :

$$m = \frac{\alpha_1 T_1 d}{100} kX + \frac{\alpha_2 T_2 d_1 d}{100 d_2} kX + \dots + \frac{\alpha_n T_n d_1 d}{100 d_n} kX \quad (16)$$

d'où

$$k = \frac{m}{Xd} \cdot \frac{100}{\alpha_1 T_1 + \frac{d_1}{d_2} \alpha_2 T_2 + \frac{d_1}{d_3} \alpha_3 T_3 + \dots + \frac{d_1}{d_n} \alpha_n T_n} \quad (17)$$

avec

$$\alpha_1 T_1 + \frac{d_1}{d_2} \alpha_2 T_2 + \frac{d_1}{d_3} \alpha_3 T_3 + \dots + \frac{d_1}{d_n} \alpha_n T_n \neq 0 \quad (18)$$

En remplaçant m par sa valeur, nous avons:

$$k = \frac{T_i v_i (1 - \beta)}{X(\alpha_1 T_1 + \frac{d_1}{d_2} \alpha_2 T_2 + \frac{d_1}{d_3} \alpha_3 T_3 + \dots + \frac{d_1}{d_n} \alpha_n T_n)} \quad (19)$$

Donc V_j s'écrit :

$$\left\{ \begin{array}{l} V_j = v_j + \frac{d_1(1-\beta)\alpha_j T_i}{d_j \sum \frac{d_1}{d_j} \alpha_j T_j} v_i \\ j \neq i \\ \sum_{j=1}^n \alpha_j = 0 \\ d_j \sum_{j=1}^n \frac{d_1}{d_j} \alpha_j T_j v_i \neq 0 \end{array} \right. \quad (20)$$

2.1 Cas de 3 solutions à mélanger

Soient les solutions S_1, S_2, S_3 de titres alcooliques centésimaux respectifs T_1, T_2, T_3 à mélanger pour préparer une solution S_i de titre alcoolique centésimal T_i avec $T_3 < T_2 < T_1 \leq 100$.

Pour calculer les volumes classiques non nuls v_1, v_2, v_3 , appliquons le postulat de la conservation de la masse-énergie au cours du processus de mélange dans un système physique isolé.

$$\left\{ \begin{array}{l} d_1 v_1 + d_2 v_2 + d_3 v_3 - d_i v_i = 0 \\ T_1 v_1 + T_2 v_2 + T_3 v_3 - T_i v_i = 0 \\ (d_1 - \frac{T_1 d}{100}) v_1 + (d_2 - \frac{T_2 d}{100}) v_2 - (d_i - \frac{T_i d}{100}) v_i = 0 \end{array} \right. \quad (21)$$

Les déterminants du système d'équations [9] sont :

$$D_p = \begin{vmatrix} d_1 & d_2 & d_3 \\ T_1 & T_2 & T_3 \\ d_1 - \frac{T_1 d}{100} & d_2 - \frac{T_2 d}{100} & d_3 - \frac{T_3 d}{100} \end{vmatrix} \quad (22)$$

$$D_{v_1} = \begin{vmatrix} d_2 & d_3 & -d_i v_i \\ T_2 & T_3 & -T_i v_i \\ d_2 - \frac{T_2 d}{100} & d_3 - \frac{T_3 d}{100} & \frac{T_i d}{100} - d_i \end{vmatrix} \quad (23)$$

$$D_{v_2} = \begin{vmatrix} d_1 & d_3 & -d_i v_i \\ T_1 & T_3 & -T_i v_i \\ d_1 - \frac{T_1 d}{100} & d_3 - \frac{T_3 d}{100} & \frac{T_i d}{100} - d_i \end{vmatrix} \quad (24)$$

$$D_{v_3} = \begin{vmatrix} d_1 & d_2 & -d_i v_i \\ T_1 & T_2 & -T_i v_i \\ d_1 - \frac{T_1 d}{100} & d_2 - \frac{T_2 d}{100} & \frac{T_i d}{100} - d_i \end{vmatrix} \quad (25)$$

Après calcul, nous avons :

$$\left\{ \begin{array}{l} v_1 = \frac{D_{v_1}}{D_p} \\ v_2 = \frac{D_{v_2}}{D_p} \\ v_3 = \frac{D_{v_3}}{D_p} \end{array} \right. \quad (26)$$

Quel que soit l'un des cas de figures suivants $T_3 < T_2 < T_i < T_1$ ou $T_3 < T_i < T_2 < T_1$, nous pouvons écrire :

$$\left\{ \begin{array}{l} V_1 = v_1 + \alpha_1 kX \\ V_2 = v_2 + \frac{d_1}{d_2} \alpha_2 kX \\ V_3 = v_3 + \frac{d_1}{d_3} \alpha_3 kX \end{array} \right. \quad (27)$$

Autrement

$$\left\{ \begin{array}{l} V_1 = v_1 + \frac{\alpha_1 T_i v_i (1-\beta)}{(\alpha_1 T_1 + \frac{d_1}{d_2} \alpha_2 T_2 + \frac{d_1}{d_3} \alpha_3 T_3)} \\ V_2 = v_2 + \frac{\alpha_2 T_i v_i (1-\beta) d_1}{d_2 (\alpha_1 T_1 + \frac{d_1}{d_2} \alpha_2 T_2 + \frac{d_1}{d_3} \alpha_3 T_3)} \\ V_3 = v_3 + \frac{\alpha_3 T_i v_i (1-\beta) d_1}{d_3 (\alpha_1 T_1 + \frac{d_1}{d_2} \alpha_2 T_2 + \frac{d_1}{d_3} \alpha_3 T_3)} \\ \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 0 \end{array} \right. \quad (28)$$

2.2 Cas de 2 solutions à mélanger

En pratique, nous pouvons fixer les valeurs de α et discuter le système selon les valeurs permises de β tout comme l'inverse.

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_1 = 1 \\ \alpha_2 = -1 \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} V_1 = v_1 + \frac{T_i v_i (1-\beta)}{(T_1 - \frac{d_1}{d_2} T_2)} \\ V_2 = v_2 - \frac{T_i v_i (1-\beta) d_1}{(T_1 - \frac{d_1}{d_2} T_2) d_2} \end{array} \right. \quad (29)$$

3 Conclusion

Nous pensons que ce travail contribuera à préciser davantage la préparation des solutions de même espèce chimique par le processus de mélange. Aussi, notre technique de jeaugeage révèle que la conformation de mélange pour que le titre et la masse se conservent n'est pas unique, ce qui entre autre en galénique offre une plus grande mania-bilité des composants d'un mélange sans affecter la qualité recherchée du produit fini.

4 Remerciements

Les personnes sans lesquelles ce travail serait resté vain sont très nombreux. En particulier les Professeurs Gaoussou Kanouté, Benoît. Y. Koumaré, pharmaciens titulaires de Chimie Analytique à la Faculté de Médecine de Pharmacie et d'Odontostomatologie de l'université de Bamako sont ceux qui ont dirigés et encadrés ma thèse de doctorat diplôme d'état en Pharmacie dont le présent article est un développement, sans oublier le personnel chaleureux du Laboratoire National de la Santé. Sans l'aide de mes amis Dr Doulaye Dembélé, ingénieur chercheur au CNRS en France et Pr Fadoulrahmane Seydou, Professeur de mathématiques au Mali, il n'y aurait jamais eu de version Latex de ces lignes et ce plan de présentation.

5 Bibliographie

- 1-Dembélé B. Thèse de Doctorat en Pharmacie, E.N.M.P Bamako 1992. Coupage et Mouillage d'Alcool : nouvelle approche mathématique et validation galénique des formules.
- 2-Dorvault. L'officine, 23 ème Edition. VIGOT.
- 3-Organisation Internationale de Métrologie Légale : Tables Alcoométriques Internationales (en ligne).
- 4-https://fr.wikipedia.org/wiki/Degré_d'alcool
- 5-Sandra Peterson, Solving Mixture Problems: The bucket Method, Jefferson Davis Learning Center (en ligne)
- 6-<http://www.purplemath.com/modules/mixture.htm>
- 7-<http://www.purplemath.com/modules/mixture2.htm>
- 8-<http://www.onlinemathlearning.com/mixture-problems.html>
- 9-TD n°1 Pr N Chaffai. Département Pharmacie, Annaba (en ligne)

Comprendre la généralisation relativiste de la théorie de la fonctionnelle de la densité (TFD ou DFT) et la compléter dans la pratique

Diola BAGAYOKO^{1*} et Yacouba Issa DIAKITÉ²

¹ Département de mathématiques, de physique et de l'enseignement des Sciences et des mathématiques (MP-SMED)
Southern University, Baton Rouge

² Département d'Etudes et de Recherche en Physique, Faculté des Sciences et Techniques, Université des Sciences, des Techniques, et des technologies de Bamako (USTTB), Bamako

*Auteur de correspondance : bagayoko@aol.com

SOMMAIRE : En 2014, 50 ans après l'introduction de la théorie de la fonctionnelle de la densité (TFD or DFT en anglais), une compréhension rigoureuse de cette théorie a été publiée [AIP Avances, 4, 127104 (2014)]. Cette compréhension comprend deux caractéristiques qui complètent la théorie dans la pratique, dans la mesure où ils sont nécessaires à son application correcte dans les calculs de structure électronique; cette compréhension élucide ce qui semble avoir été l'erreur cruciale pour 50 ans, à savoir la confusion entre une solution stationnaire, atteignable avec la plupart des bases de fonctions, après les itérations pour l'auto-consistance, avec la solution pour l'état fondamental du système étudié. Ce dernier est obtenu par un calcul qui utilise la base optimale de fonctions bien définie pour le système. Le but de ce travail est de passer en revue la compréhension ci-dessus et de l'étendre à la généralisation relativiste de la théorie de la fonctionnelle de la densité par Rajagopal et Callaway [Phys. Rev. B 7, 1912 (1973)]. Cette extension suit simplement des étapes similaires à celles suivies dans le cas non-relativiste, avec la densité de courant à quatre composantes, dans l'ancien, remplaçant la densité de charge électronique, dans ce dernier. Cette nouvelle compréhension, qui complète la DFT dans la pratique, semble être nécessaire pour l'étude des atomes lourds et des matériaux (des molécules aux solides) qui les contiennent - comme cela est le cas pour certains supraconducteurs de haute température.

Mots clés : Théorie de la fonctionnelle de la densité, Méthode BZW-EF, applications correctes de la DFT, épaisseurs de bandes interdites, description et prédiction correctes des propriétés des matériaux.

1. INTRODUCTION

De son introduction par Hohenberg et Kohn [1], il y a cinquante un ans, à 2014, la théorie de la fonctionnelle de la densité (DFT) et son approximation de la densité locale (LDA) [2] semblaient avoir de sérieuses limitations pour la description ou la prédiction correcte des propriétés électroniques des atomes, des molécules, des semi-conducteurs, et des isolateurs. Plus précisément, les épaisseurs calculées des fossés d'énergie (pour les systèmes finis) et celles de bandes interdites (pour les semi-conducteurs et isolants cristallins) ont été, la plupart du temps, beaucoup plus petites que leurs valeurs mesurées correspondantes. Face à ce récalcitrant «problème d'épaisseur de bande interdite, » la communauté de la théorie de la matière condensée a cherché des explications et des remèdes à cette sous-estimation inacceptable par les calculs quantiques.

L'auto-interaction [3] et la discontinuité de la dérivée de l'énergie d'échange de corrélation [4-6] ont été respectivement introduites en 1981 et 1983 pour expliquer les limites perçues de la DFT et de son approximation de la densité locale (LDA). D'autres explications incluent le fait que la forme exacte de l'énergie d'échange et de corrélation est inconnue; par conséquent, certaines limitations de calculs de la DFT pourraient provenir d'approximations inhérentes à elle et à sa dérivée fonctionnelle, le potentiel d'échange-corrélation. Dans le cas des calculs de LDA, les effets non-locaux sont des contributeurs possibles au désaccord entre la théorie et l'expérience.

Les mesures prises pour remédier aux limitations ci-dessus attribuées à la DFT ont en partie consisté en l'introduction de versions non-locales du potentiel d'échange de corrélation, la plupart du temps sous la forme d'approximations du gradient généralisé (GGA) [7-10], et la construction de nouveaux potentiels en des paramètres ad hoc ou d'autres formes

d'ajustements ou corrections. En particulier, augmenter certains potentiels LDA et GGA avec le « U » d'Hubbard ou d'autres quantités est censé améliorer de manière significative la description des matériaux fortement corrélés [11-12]. Les versions hybrides [13-14] du potentiel d'échange et de corrélation ont été particulièrement populaires en chimie. Il convient de noter qu'il semble exister une prolifération des potentiels ad hoc qui ont la limitation d'être dépourvus de capacités de prédiction, compte tenu de l'ajustement ou des ajustements qui varient souvent d'un matériau à un autre. La pléthore de ces potentiels et les efforts et publications connexes certainement nous éloignent de la recherche de solutions fondamentales et définitives du problème de sous-estimation. Cette situation équivaut à une «catastrophe d'épaisseur de bande interdite,» en ce qui concerne la description et la prédiction correctes des propriétés des matériaux ; la première et la deuxième sont typiquement nécessaires pour la théorie d'informer et de guider la conception et la fabrication de dispositifs, d'une part, et d'être utile la recherche pour de nouveaux matériaux, d'autre part.

En 1998, notre groupe a présenté des propriétés électroniques et connexes, qui étaient en accord avec leurs valeurs mesurées correspondantes, du titanate de baryum (BaTiO_3) [15]; elles ont été obtenues avec des calculs auto-consistants en utilisant un potentiel de l'approximation de la densité locale (LDA) [16-17]. Plus précisément, l'épaisseur calculée de la bande interdite, les énergies de transitions optiques, et les fonctions diélectriques étaient très bien en accord avec leurs valeurs expérimentales correspondantes pour BaTiO_3 . Les propriétés électroniques et connexes calculées pour wurtzite GaN, C et Si étaient également en accord général avec l'expérience [18]. La méthode de calcul que nous avons introduite en 1998 a conduit à l'identification d'un effet variationnel de base de fonctions comme la source de plusieurs des limitations perçues de la DFT et d'LDA. La forme originale de cette méthode est connue comme la méthode Bagayoko, Zhao, et Williams (BZW) [15]. Après 2010, les travaux d'Ekuma [19] et de Franklin [20] ont aboutis à une version améliorée de la méthode (BZW-EF). Les deux formes de la méthode sont décrites plus en détail dans la Section 2. Notre explication de la sous-estimation, avec l'effet variationnel de base de fonctions, n'attribue pas le problème à la DFT ; elle montre que les calculs utilisant une seule base de fonctions ne peuvent pas chercher et atteindre les minima absolus des énergies occupées (i.e., l'état

fondamental); pour cette raison, comme expliqué ci-dessous, les résultats ne peuvent pas être censés avoir le contenu physique complet de la DFT. Par conséquent, les désaccords entre les calculs et l'expérience ne peuvent pas être attribués à la DFT.

Malgré le succès évident de la méthode BZW et BZW-EF dans la description ou la prédiction des propriétés électroniques et connexes de matériaux, comme amplement illustré ci-dessous, notre explication et notre solution au problème de l'épaisseur de bande interdite semblent avoir été ignorées jusqu'à l'an 2014. L'argument de certains a été qu'avec la nécessité de la correction d'auto-interaction et de l'addition de la discontinuité de dérivée de l'énergie d'échange et corrélation, il n'est pas possible d'obtenir des valeurs calculées correctes des épaisseurs de bandes interdites en utilisant un potentiel de la DFT en général, et de l'approximation de la densité locale, en particulier. En 2014, Bagayoko a présenté une nouvelle compréhension de la DFT qui adhère rigoureusement aux conditions qui sont inhérentes à sa validité; c'est à-dire, nous avons prouvé que ces conditions doivent être remplies par un calcul auto-consistant afin que ses résultats puissent posséder le contenu physique complet de la DFT. Nous fournissons un bref examen de cette preuve [21] ci-dessous, dans la Section 2, et nous montrons comment la méthode BZW ou BZW-EF complète la DFT en pratique. Nous étendons ensuite cette compréhension à la formulation relativiste de la DFT dans la section 3. Dans la section 4, une brève conclusion réitère certains points saillants dans ce travail.

2. COMPRENDRE LA THÉORIE NON-RELATIVISTE DE LA FONCTIONNELLE DE LA DENSITÉ (DFT) ET LA COMPLÉTER DANS LA PRATIQUE

2.1 Comprendre la théorie non-relativiste de la fonctionnelle de la densité

Nous avons rappelé [21] en détail la dérivation de la théorie de la fonctionnelle de la densité par Hohenberg et Kohn [1]. Pour apprécier pleinement ce qui suit, le lecteur est invité à consulter cette publication [21]. Pour nos besoins ici, nous résumons les points clés par rapport à cette dérivation, en mettant l'accent sur leur incidence sur la validité de tout calcul de structure électronique employant un potentiel DFT.

La forme initiale, non relativiste de la théorie de la fonctionnelle de la densité, tel que présentée par Hohenberg et Kohn, repose sur deux théorèmes que les

auteurs ont démontrés. Le premier de ces théorèmes est que, *sauf pour une constante additive, le potentiel externe $v(\mathbf{r})$, agissant sur un système d'électrons dans une boîte, est une fonctionnelle unique de la densité de charge de ce système*. Bien entendu, en plus du potentiel externe (ou de l'extérieur), ces électrons sont soumis à l'interaction électron-électron. Hohenberg et Kohn [1] ont en outre établi un important corollaire de ce théorème, à savoir que, avec

$$V = \int v(\mathbf{r})\psi^*(\mathbf{r})\psi(\mathbf{r})d\mathbf{r} \quad (1)$$

et T et U comme les opérateurs d'énergie cinétique et de l'interaction électron-électron, l'énergie

$$E_v[n] = \int v(\mathbf{r})n(\mathbf{r})d\mathbf{r} + F[n] \quad (2)$$

où $F[n(\mathbf{r})] \equiv \langle \Psi, (T + U)\Psi \rangle$, est une fonctionnelle unique de la densité de charge. (3)

$n(\mathbf{r}) = \sum_{i=1}^N |\psi_i(\mathbf{r})|^2$, où la somme est sur les états occupés seulement. (4)

Le second théorème de Hohenberg et Kohn [1], connu comme le principe variationnel de la DFT, dit que la fonctionnelle $E_v[n]$ ci-dessus [Equation 2] atteint son minimum, à savoir, l'énergie de l'état fondamental, lorsque la densité $n(\mathbf{r})$ est la densité de charge de l'état fondamental. Plus précisément, à condition que les fonctions admissibles dans l'équation (4) soient restreintes par la condition

$N[n] \equiv \int n(\mathbf{r})d\mathbf{r} = N$, ce qui signifie que le nombre total de particules est maintenu constant, (5)

Hohenberg et Kohn [1] ont établi l'inégalité

$$\int v(\mathbf{r})n'(\mathbf{r})d\mathbf{r} + F[n'] > \int v(\mathbf{r})n(\mathbf{r})d\mathbf{r} + F[n], \quad (6)$$

où $n'(\mathbf{r})$ est la densité de charge associée à un autre potentiel externe $v'(\mathbf{r})$. Nous insistons sur le fait que, dans l'équation (6), le potentiel externe $v(\mathbf{r})$ est utilisé des deux côtés de l'inégalité: cette inégalité est l'expression du fait que l'énergie fonctionnelle dans l'équation (2) atteint son minimum avec $n(\mathbf{r})$, la correcte densité de charge de l'état fondamental, et non avec une densité différente, $n'(\mathbf{r})$. Remplacer $v(\mathbf{r})$ avec $v'(\mathbf{r})$ des deux côtés de l'inégalité [Equation (6)], inverse le sens de l'inégalité. En effet, un tel

remplacement signifie que le nouveau système sous étude a une densité de charge de l'état fondamental égale à $n'(\mathbf{r})$. Ainsi, le minimum de son énergie fonctionnelle ne peut être atteinte qu'avec cette densité.

Les étapes ci-dessus dans la dérivation de la théorie de la fonctionnelle de la densité (DFT) mènent directement à sa compréhension rigoureuse, mathématique et physique articulée par Bagayoko [21], à savoir, *pour que les résultats des calculs de structures électroniques possèdent le contenu physique complet de la DFT, il est (a) nécessaire de maintenir constant le nombre total de particules et (b.1) d'employer la densité de charge tridimensionnelle exacte de l'état fondamental, ou (b.2) de rechercher et d'atteindre les minima absolus des énergies occupées*.

Il est essentiel de souligner ici ce qui semble avoir été l'erreur clé de nombreux calculs utilisant un potentiel de la DFT, à savoir, la confusion entre une solution stationnaire et la solution de l'état fondamental; le premier est obtenu avec la plupart des bases de fonctions, après les itérations d'auto-consistance, alors que le dernier est obtenu suivant plusieurs calculs, successifs auto-consistants, avec des bases de fonctions dont la taille s'accroît d'un calcul au suivant, par augmentation de la base, comme expliqué ci-dessous dans le cadre de notre méthode de calcul (BZW et BZW- EF). Il est important de noter que la base de fonction d'un calcul, excepté pour le premier, est celle du calcul précédent augmentée par une orbitale. Selon le caractère s, p, d, ou f de l'orbitale ajoutée, la taille de la base de fonctions augmente de 2, 6, 10, ou 14, respectivement, en prenant le spin en compte.

2.2 Compléter la DFT dans la pratique

La nouvelle compréhension de la DFT ci-dessus exige que les calculs de structures électroniques cherchent et atteignent les minima absolus des énergies occupées pour les systèmes étudiés. L'atteinte de ces minima absolus signifie celle de l'état fondamental du système à étudier. Comme mentionné ci-dessus, un calcul auto-consistant avec une seule base de fonctions produit une solution stationnaire parmi un nombre potentiellement infini de telles solutions. Étant donné qu'un tel calcul ne peut pas prétendre avoir atteint le minimum de la teneur en énergie de l'hamiltonien [Equation 2], une fonctionnelle unique de la densité de charge, ses résultats ne peuvent pas être tenus de

posséder le contenu physique complet de la DFT ; sous-estimation récalcitrante, par ces calculs, des valeurs mesurées d'épaisseurs de bandes interdites atteste à ce fait. Pour atteindre l'énergie de l'état fondamental, l'utilisation de notre méthode de calcul (BZW et BZW-EF), ou d'autres similaires à elle, semble être nécessaire. Cette méthode est décrite en détail dans plusieurs publications [15, 17-21]. Nous fournissons ci-dessous une description sommaire de cette méthode, en mettant l'accent sur ses deux caractéristiques qui complètent la DFT dans la pratique.

La première de ces caractéristiques de notre méthode est l'exécution de plusieurs calculs auto-consistants avec des bases croissantes de fonctions ; excepté pour le premier calcul avec une petite base de fonctions, pas plus petite que la base minimale de fonctions qui accommode tous les électrons dans le système, la base de fonction d'un calcul est celle du calcul précédent plus une orbitale représentant un état excité. Les énergies occupées des calculs 1 et 2, 2 et 3, etc., sont respectivement comparées numériquement et graphiquement, après avoir ramené le niveau de Fermi à zéro. Généralement, les énergies occupées et les énergies vides (non-occupées) s'abaissent avec l'accroissement du nombre de fonctions dans la base. Nous arrêtons les calculs successifs lorsque trois calculs consécutifs conduisent aux mêmes énergies occupées, dans la limite de l'incertitude de nos calculs de 0,005 eV. Trois calculs sont nécessaires, étant donné que des cas ont été trouvés où deux calculs consécutifs ont donné les mêmes énergies occupées, mais le calcul suivant le second a conduit à certaines énergies occupées inférieures à leurs homologues provenant des deux calculs. De toute évidence, ces deux calculs ont conduit à un minimum local qui ne doit pas être confondu avec l'état fondamental pour lequel les minima absolus des énergies occupées sont nécessaires. *D'autres calculs, avec de plus grandes bases augmentées de fonctions, ne changent pas la densité de charge.* Par conséquent, ils ne changent pas le contenu de l'hamiltonien, même si les matrices correspondantes ont de plus grandes dimensions. *Cette caractéristique de la méthode BZW ou BZW-EF complète la DFT dans la pratique, dans la mesure où elle permet la recherche requise et l'atteinte de l'état fondamental du système.*

La mise en œuvre ci-dessus de la combinaison linéaire d'orbitales atomiques (CLOA ou LCAO en anglais) fait partie de la méthode Bagayoko, Zhao et Williams (BZW) si les orbitales ajoutées sont dans l'ordre

croissant des énergies d'états excités dans les espèces atomiques ou ioniques qui forment la molécule ou le solide. Dans la version BZW-EF de la méthode, les orbitales ne sont pas nécessairement ajoutées dans l'ordre croissant des énergies d'états excités; pour un nombre quantique principal donné n , sur un site atomique ou ionique, les orbitales p , d et f qui sont applicables sont ajoutés dans cet ordre avant la correspondante orbitale s . *Cette approche contre-intuitive reconnaît le fait que, pour les états de valence, la polarisation a la primauté sur la symétrie sphérique.* Nos calculs LDA et GGA avec la méthode BZW ont conduit à des descriptions correctes de plusieurs semi-conducteurs, y compris les prédictions qui ont été confirmées par des expériences pour Si_3N_4 cube [22] et InN [23]. Cependant, il y a eu des cas où des épaisseurs de bandes interdites obtenues avec la méthode BZW ont été légèrement inférieures à leurs valeurs expérimentales correspondantes par 0,1 à 0,3 eV. En revanche, les épaisseurs de bandes interdites obtenues avec la méthode BZW-EF sont en accord avec les données expérimentales correspondantes.

La deuxième caractéristique de la méthode qui complète la DFT dans la pratique consiste à déterminer, parmi le nombre potentiellement infini de calculs qui produisent les mêmes énergies occupées, celui qui fournit la description DFT du système. Parmi les trois *premiers* calculs consécutifs qui produisent les mêmes énergies occupées, la première, avec la plus petite des trois bases de fonctions, fournit la description DFT du système. La base de fonctions correspondante est appelée la base optimale de fonctions. Ce choix, introduit par la méthode BZW et maintenu dans l'amélioration BZW-EF, est basé sur le théorème de Rayleigh pour les valeurs propres [21, 24]. Ce théorème affirme que lorsque la même équation aux valeurs propres est résolue avec des bases de N et de $(N + 1)$ fonctions, où les N fonctions sont augmentées pour obtenir les $(N + 1)$, alors, les valeurs propres ordonnées obtenues avec les $(N + 1)$ fonctions sont inférieures ou égales aux valeurs propres correspondantes obtenues avec les fonctions N . En d'autres termes, l'accroissement (par augmentation) de la taille de la base de fonctions abaisse une valeur propre donnée, à moins qu'elle ait atteint sa valeur minimale; dans ce dernier cas, la valeur propre demeure inchangée.

Clairement, après l'atteinte des minima absolus des énergies occupées, un abaissement supplémentaire d'une énergie inoccupée n'est pas dû à une interaction dans l'hamiltonien qui ne change pas de sa valeur

obtenue avec la base optimale de fonctions. Par conséquent, un tel abaissement est un artefact mathématique découlant du théorème de Rayleigh. Cet artefact est l'effet « *variationnel* » de base de fonctions » bien défini et qui ne doit pas être confondu avec la vague notion d'effet de base de fonctions. Il peut être invoqué seulement après que les énergies occupées aient atteint leurs minima absolus; avant cela, l'abaissement des énergies occupées et inoccupées est attribué aux interactions physiques contenues dans l'hamiltonien qui change d'un calcul à l'autre. En principe, il y a un nombre infini de bases de fonctions, résultant d'augmentations successives de la base de fonctions, qui mènent à l'abaissement de certaines énergies inoccupées. En 2014, Bagayoko [20] a fourni une explication, basée sur la DFT, pour la sélection ci-dessus de la base optimale de fonctions ; cette explication et celle qui est basée sur le théorème de Rayleigh. Chacune d'elle est suffisante.

En effet, le premier calcul pour atteindre les minima absolus des énergies occupées est celui qui fournit la vraie description DFT du matériau étudié. Les calculs avec des bases de fonctions obtenues en augmentant la base optimale ne changent pas la densité de charge. Par conséquent, comme déjà noté, ils ne changent pas le contenu de l'hamiltonien. La teneur en énergie de ce hamiltonien (dans l'équation 2) est une fonctionnelle unique de la densité de charge, selon le premier théorème de Hohenberg et Kohn. Une autre façon d'énoncer ce fait est que le spectre de l'hamiltonien est une fonctionnelle unique de la densité de charge. Par conséquent, les énergies inoccupées abaissées, tandis que la densité de charge ne change pas, ne font pas partie du vrai spectre DFT de l'hamiltonien. Ces abaissements d'énergies inoccupées, tandis que les énergies occupées ne changent pas, expliquent la sous-estimation de la bande interdite par les calculs qui ne recherchent pas délibérément et n'atteignent pas les minima absolus des énergies occupées (état fondamental). *La deuxième caractéristique ci-dessus de la méthode BZW et BZW-EF complète la DFT dans la pratique, dans la mesure où elle permet l'identification de la base optimale de fonctions, à savoir, celle avec laquelle un calcul fournit la véritable description DFT du matériau étudié.* Ce faisant, cette caractéristique de notre méthode permet d'éviter la destruction du contenu physique, provenant de la DFT, des basses énergies inoccupées avec l'utilisation de grandes bases de fonctions qui sont plus que complètes pour la description de l'état fondamental.

2.3 Confirmation expérimentale de notre compréhension de la DFT

Bagayoko a examiné les cas de neuf semi-conducteurs [21] dont les épaisseurs de bandes interdites ont été sous-estimées par 99 calculs utilisant, chacun, une seule base de fonctions. Pour chacun de ces semi-conducteurs, les résultats BZW et BZW-EF sont en accord avec l'expérience, non seulement pour les épaisseurs de bandes interdites, mais aussi pour une multitude de propriétés électroniques et connexes. Le lecteur est prié de consulter la référence 21 pour ces semi-conducteurs qui sont c-InN [23], AlAs [25], Zb-ZnS [26], [27], Zb-GaN [27], rutile TiO₂ w-GaN [28], w-ZnO [20], zb-BP [29], c-BN [30], où c-, w- et zb- signifient cubic, wurtzite et zinc blende, respectivement. Des dizaines d'autres semi-conducteurs ont été correctement décrits par des calculs DFT BZW et BZW-EF, y compris le diamant [18], le silicium [18], et le germanium [19].

Alors que les accords ci-dessus témoignent de la nature correcte de notre compréhension de la DFT et du fait que notre méthode la complète dans la pratique, le terme « confirmation » est plus approprié pour les prédictions que nous avons faites et qui ont été vérifiées plus tard par l'expérience. Plus précisément, nos calculs LDA-BZW de Bagayoko et Zhao [22], pour c-Si₃N₄, ont prédit une épaisseur de bande interdite de 3,68 eV en 2001. *En 2003, Egdell et al. [31] ont rapporté deux résultats expérimentaux différents de 3,6 eV et 3,7 eV, en excellent accord avec notre prédiction.* La prédiction LDA-BZW pour le module vrac (bulk modulus) de ce matériau est de 330 GPa. Jiang et al. [32] ont rapporté une valeur mesurée de 317 ± 11 GPa, en excellent accord avec la prédiction. De même, en 2004, les calculs LDA-BZW de Bagayoko et al. [23] ont prédit une constante de réseau d'équilibre de 5.017 Å et une épaisseur de bande interdite de 0,65 eV pour le réseau cubique d'InN (c-InN). En 2006, Schormann et al. [33] ont rapporté les valeurs mesurées correspondantes de $5.01 \pm 0,01$ Å pour la constante de réseau (à l'équilibre) et 0,61 eV pour l'épaisseur de la bande interdite, également en accord avec les prédictions.

En 2005, Franklin et Bagayoko [34] ont été les premiers à résoudre, avec des résultats ab-initio, la controverse entre deux groupes d'expériences sur l'épaisseur de bande interdite w-InN. Avant 2000, la plupart des expériences ont rapporté des épaisseurs de bandes interdites d'environ 2 eV. Après 2000, avec des cristaux relativement purs, des expériences ont trouvé

des épaisseurs de bande interdite de 0,7-1,0 eV. Le résultat de 0,88 eV, obtenu par des calculs LDA-BZW par Bagayoko et Franklin 2005 [33], a tranché en faveur des expériences après 2000 ; l'une d'elles a mesuré 0,883 eV [35], pour un échantillon ayant une concentration modérée de charges. Notre résolution théorique de cette controverse entre les groupes d'expériences équivaut à une prédiction. Wurtzite InN est bien connu d'être sujet à l'effet Burstein-Moss, à savoir l'augmentation de l'épaisseur de la bande interdite du matériau avec celle de la concentration des charges. Bagayoko et Franklin [34] ont expliqué comment les méthodes de fabrication relativement brutes, avant 2000, ont conduit à des concentrations très élevées de charges par comparaison aux concentrations résultant des méthodes raffinées de fabrication des échantillons (à savoir, avec épitaxie par faisceaux moléculaires) employées après 2000.

Notre prédiction de la nature indirecte de l'épaisseur de bande interdite de rutile TiO_2 [28], contrairement aux résultats expérimentaux et théoriques précédents, mérite une mention spéciale. En effet, après avoir obtenu une épaisseur indirecte de bande interdite 2,95 eV, pour le rutile TiO_2 , et la valeur de 3,05 eV pour la plus petite des épaisseurs directes de bande interdite, nous nous sommes sentis obligés de publier ces résultats. Pour nous, il était question d'informer la communauté de la théorie de la matière condensée d'une instance très rare où les calculs DFT- BZW-EF semblent avoir conduit à un résultat erroné pour l'épaisseur de bande interdite d'un matériau. En 2014, Santara et al. [36] ont rapporté des résultats expérimentaux qui montrent qu'en accord avec notre résultat, l'épaisseur fondamentale (la plus petite) de bande interdite de nanostructures de TiO_2 rutile est indirecte !

La confirmation ci-dessus des prédictions des calculs LDA ou GGA BZW et BZW-EF, pour la description et la prédiction des propriétés électroniques et connexes de matériaux, est une motivation pour étendre notre compréhension de la DFT non-relativiste à la généralisation relativiste de la DFT. Cette compréhension de la DFT relativiste et sa complétion dans la pratique peuvent être nécessaires pour les études théoriques des éléments lourds (à savoir, Z de 57 et plus) et de nombreux systèmes qui les contiennent. Plusieurs supraconducteurs de haute température, pour lesquels il reste beaucoup de travail théorique à faire, sont des exemples de tels matériaux. Selon le degré de précision souhaité, cette DFT relativiste peut être très utile pour la description de la

plupart des atomes, des molécules, des semi-conducteurs, des isolants ou des métaux.

3. COMPRENDRE LA DFT RELATIVISTE ET LA COMPLÉTER DANS LA PRATIQUE

Comme nous l'avons fait dans le cas non-relativiste, nous suivons de près, ci-dessous, la dérivation de la généralisation relativiste de la DFT, par Rajagopal et Callaway [37], afin d'élucider sa compréhension qui prend en compte les conditions qui sont inhérentes à sa validité. Ces auteurs ont considéré un nombre arbitraire d'électrons dans une boîte, sujet à vecteur potentiel $A_\mu(x) = [v(\vec{r}, t), \vec{A}(\vec{r}, t)]$. En utilisant la formulation de l'électrodynamique quantique par Schweber [38], ils ont écrit l'équation de Schrödinger dans l'espace de Fock [38] comme

$$\left(i\hbar \frac{\partial}{\partial t} - H \right) |\Psi\rangle = 0, \quad (7)$$

où l'hamiltonien est

$$H = H_0 + H_C + H_I + H_{ext} \quad (8)$$

Les termes sur le côté droit de cette égalité suivent. H_0 est l'opérateur pour décrire les champs non-interagissant de Dirac et électromagnétique. Un espace de Fock est un espace vectoriel de dimension infinie largement utilisé dans la théorie quantique des champs pour construire les états d'un système de plusieurs particules à partir de celles d'un système d'une particule.

$$H_0 = H_{em} + \int d^3x \tilde{\psi}(x) h(x) \psi(x). \quad (9)$$

H_{em} représente le champ de rayonnement libre et $h(x)$, donné ci-dessous, est le hamiltonien de Dirac pour une particule.

$$h(x) = (i\gamma^\mu \partial_\mu - m). \quad (10)$$

En utilisant la jauge de rayonnement (jauge de radiation), les auteurs ont explicitement écrit l'interaction de Coulomb entre électrons comme

$$H_C = \frac{1}{2} \int d^3x d^3x' \tilde{\psi}(x) \gamma_0 \psi(x) (e^2 / |x - x'|) \tilde{\psi}(x') \gamma_0 \psi(x') \quad (11)$$

H_I , l'interaction entre le champ de rayonnement transversal et la matière, est

$$H_I = -\int j_\mu(x) A^\mu(x) d^3x. \quad (12)$$

Le dernier terme du côté droit de l'équation 8, H_{ext} , est l'interaction entre les électrons et un champ externe non quantifié A_{ext}^μ . Pour plus de commodité, les auteurs ont inclu dans ce champ externe celui de Coulomb produit par les noyaux du système. Ils ont supposé que ces noyaux sont immobiles.

$$H_{ext} = -\int j_\mu(x) A_{ext}^\mu(x) d^3x. \quad (13)$$

Cette supposition ci-dessus de noyaux fixes consiste à négliger le mouvement des noyaux par rapport à celui des électrons. Cette supposition nécessite donc l'approximation classique de Born-Oppenheimer, à savoir, que le mouvement des noyaux et celui des électrons peuvent être séparés. Rajagopal et Callaway [37] ont ensuite défini la densité 4-dimensionnelle de courant dans l'état fondamental comme

$$J_\mu(x) = \langle G | j_\mu(x) | G \rangle, \quad (14)$$

où $|G\rangle$ représente l'état fondamental du système de champs électromagnétiques et de la matière.

L'équation de continuité, avec la densité de courant à quatre composantes de l'état fondamental définie ci-dessus, est

$$\partial_\mu J^\mu(x) = 0. \quad (15)$$

Après avoir défini les termes ci-dessus, Rajagopal et Callaway ont procédé à montrer que le potentiel extérieur

(A_{ext}^μ) est une fonctionnelle unique de la densité de courant à quatre dimensions. Ce faisant, ils ont établi la contrepartie relativiste du premier théorème de Hohenberg-Kohn. Comme fait par Hohenberg et Kohn, Rajagopal et Callaway ont utilisé le raisonnement par l'absurde (reduction ad absurdum). Le corollaire habituel, que la teneur en énergie de l'hamiltonien est une fonctionnelle unique de la densité de courant à quatre composantes, suit directement. Une autre manière d'exprimer ce corollaire est que le spectre de l'hamiltonien est une fonctionnelle unique

de la densité de courant à quatre composantes. Cette dernière formulation est particulièrement pertinente pour les calculs de structure électronique employant une combinaison linéaire d'orbitales spinorielles (à quatre composantes). Le contenu énergétique référencé ci-dessus de l'hamiltonien est

$$E[G] = F[J] - \int J_\mu(x) A_{ext}^\mu d^3x, \text{ où} \quad (16)$$

$$F[J] = \langle G | H_0 + H_C + H_I | G \rangle. \quad (17)$$

Suivant l'approche de Hohenberg et Kohn, Rajagopal et Callaway [37] ont également établi la contrepartie relativiste du second théorème de Hohenberg-Kohn. Ils ont d'abord intégré l'équation de continuité pour obtenir

$$\langle G | \int j^0(x) d^3x | G \rangle = \int J^0(x) d^3x = \text{const} \quad (18)$$

L'équation 18 est l'expression de l'exigence d'avoir le nombre total de particules maintenu constant.

Avec $|G'\rangle$ et $|G\rangle$ comme les vecteurs de l'état fondamental correspondant à deux potentiels extérieurs $A_{ext}'^\mu$ et A_{ext}^μ différents, respectivement, Rajagopal et Callaway ont prouvé l'inégalité suivante,

$$F[J'] - \int J'_\mu(x) A_{ext}^\mu d^3x > F[J] - \int J_\mu(x) A_{ext}^\mu d^3x, \quad (19)$$

avec A_{ext}^μ des deux côtés de l'inégalité.

L'inégalité, dans l'équation 19 ci-dessus, exprime la contrepartie relativiste du second théorème de Hohenberg-Kohn.

Comme dans le cas de la DFT non-relativiste, l'utilisation de la généralisation relativiste de la DFT pour les calculs de structure électronique a les exigences suivantes, si les résultats doivent posséder le contenu physique complet de la DFT relativiste: (a) le nombre total de particules doit être maintenu constant et (b.1), on doit utiliser la densité de courant à quatre composantes de l'état fondamental ou (b.2) il faut rechercher et atteindre les minima absolus des énergies occupées. Comme dans le cas non-relativiste, la densité de courant correspondant aux minima absolus des énergies occupées est celle de l'état fondamental. Encore une fois, l'équation 19 montre

clairement que les résultats d'un calcul avec une seule base de fonctions spinorielles (à quatre composantes) ne seront généralement pas ceux de la DFT relativiste pour un matériau. De tels résultats sont simplement ceux d'une solution stationnaire arbitraire parmi plusieurs autres.

4. CONCLUSION

De la compréhension rigoureuse ci-dessus des théories de la fonctionnelle de la densité (DFT) non-relativiste et relativiste (RDFT), il suit que les échecs des calculs usant une seule base de fonctions – pour la description ou prédiction correcte des propriétés des matériaux – provient du non-respect d'une condition inhérente à la validité de la DFT or RDFT. En effet, en l'absence d'une densité de charge ou de courant de l'état fondamental d'un matériau, la recherche et l'atteinte des minima absolus des énergies occupées est simplement nécessaire pour que les résultats des calculs de structure électronique puissent posséder le contenu physique complet de la DFT relativiste ou non relativiste. La méthode Bagayoko, Zhao, et Williams (BZW), comme améliorée par Ekuma et Franklin (BZW-EF), conduit à des descriptions et des prédictions très correctes (en accord avec l'expérience) des propriétés électroniques et connexes des matériaux, avec des potentiels DFT. Elle le fait sans invoquer la discontinuité de la dérivée de l'énergie d'échange et de corrélation ou une correction d'auto-interaction. De plus, avec cette méthode, on ne semble pas avoir besoin de potentiels ad hoc ou d'autres ajustements pour obtenir des résultats en accord avec l'expérience. La compréhension ci-dessus de la DFT et la méthode BZW-EF ouvrent la voie à des descriptions et des prédictions très correctes des propriétés électroniques et connexes de matériaux. Ce faisant, ils permettent à la théorie d'informer et de guider la conception et la fabrication de dispositifs à base de matériaux, comme envisager par l'Initiative du Génome des Matériaux [38].

REMERCIEMENTS

Ce travail a été financé en partie par la Fondation Nationale pour la Science des USA : [NSF, Projet Nos. EPS-1003897, NSF (2010-2015) -RII-SUBR et HRD-1002541], le Département Américain de l'Énergie, National Nuclear Security Administration (NNSA, Projet No. DE-NA0002630), le Ministère de l'Enseignement Supérieur du Mali, à travers le Programme de Formation des Formateurs (PFF), et le Ministère des Maliens de l'Extérieur, à travers le

projet de Transfert de Connaissances à Travers les Expatriés Nationaux (TOKTEN en anglais).

RÉFÉRENCES

- [1] Hohenberg, P., and Kohn, W. (1964) Phys. Rev. 136, No.3B, B 864.
- [2] Kohn, W. and Sham, L. J. (1965) Phys. Rev. 140, A1133.
- [3] Perdew, J. P. and Zunger, Alex (1981) Phys. Rev. 23, No. 10, 5048.
- [4] Perdew, John P. and Levy, Mel (1983) Phys. Rev. Lett. 51, No. 20, 1884.
- [5] Sham, L. J. and Schlüter, M. (1983) Phys. Rev. Lett. 51, No. 20, 1888.
- [6] Sham, L. J. and Schlüter, M. (1985) Phys. Rev. B, 32, 3883.
- [7] Langreth, David C. and Perdew John P. (1980) Phys. Rev. B 21, 5469 (1980).
- [8] Perdew, John P., Burke, Kieron and Ernzerhof, Matthias (1996) *Physical Review Letters* 77 (18):3865–3868 (1996-10-28).
- [9] Engel, E. and Vosko, S. H. (1993) Phys. Rev. B47, 13 164.
- [10] J. Perdew, J. P., Burke, K. and Wang, Y. (1996) Phys. Rev. B, 54, 16533.
- [11] Han, Myung Joon, Ozaki, Taisuke and Yu, Jaejun (2006) Phys. Rev. B 73, 045110.
- [12] Song, D. M., Li, J. C. and Jiang, Q. (2012) J. Appl. Phys. 111, 034318.
- [13] Becke, A.D. (1993) *J. Chem. Phys.* 98 (2): 1372–1377. Bibcode:1993JChPh..98.1372B. doi:10.1063/1.464304.
- [14] Heyd, Jochen, Scuseria, Gustavo E. and Ernzerhof, Matthias (2003), *J. Chem. Phys.* 118 (18): 8207. Bibcode:2003JChPh.118.8207H. doi:10.1063/1.1564060
- [15] Bagayoko, D., Zhao, G. L., Fan, J. D. and Wang, J. T. (1998) Journal of Physics: Condensed Matter, Vol. 10, No. 25, 5645.
- [16] Ceperley, D. M. and Alder, B. J. (1980) Physical Review Letters 45 (7), 566-569.
- [17] Vosko, S. H., Wilk, L. and Nusair, M. (1980) Canadian Journal of Physics 58 (8), 1200-1211.
- [19] Ekuma, C. E., Jarrell, M, Moreno, Zhao, G. L. and D. Bagayoko (2013) Phys. Lett. A, Vol. 377, 34-36, 2172-2176.

- <http://authors.elsevier.com/sd/article/S0375960113005318>.
- [20] Franklin, L., Zhao, G. L., Ekuma, C. E. and Bagayoko, D. (2013) *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 74,729-736. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.jpcs.2013.01.013>).
 - [21] Bagayoko, D. (2014) *AIP Advances*, 4, 127104.
 - [22] Bagayoko, D. and Zhao, G. L. (2001) *Physica C* 364-365, Pages 261-264.
 - [23] Bagayoko, D., Franklin, L. and Zhao, G. L. (2004) *J. Appl. Phys.* 96, 4297.
 - [24] Bagayoko, D. (1983) *Inter. Jour. Quant. Chem.* 17, 527.
 - [25] Jin, H., Zhao, G. L. and Bagayoko, D. (2006) *Phys. Rev. B* 73, 245214.
 - [26] Khamala, B., Franklin, L., Malozovsky, Y., Stewart, A., Saleem, A. and Bagayoko, D. (2016) *Computational Condensed Matter*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cocom.2015.12.001>
 - [27] Yacouba Issa Diakit  l, Sibiry D. Traor  , Yuriy Malozovsky, Bethuel Khamala, Lashounda Franklin and Diola Bagayoko, *The African Review of Physics* (2015) 10:0039.
 - [28] Ekuma, C. E. and Bagayoko, D. (2011) *Japanese Journal of Applied Physics (JJAP)*, 50, 101103.
 - [29] Ejembi, J. I. , Nwigboji, I. H, Franklin, L., Malozovsky, Y., Zhao, G. L. and Bagayoko, D. (2014) *J. Appl. Phys.* 116, 0371.
 - [30] Stewart, A., Hart, D., Khamala, B., Malozovsky, Y. and Bagayoko, D. (2015) *Journal of Advances in Physics*, Vol. 9, No. 1, 2277-2286 (2015). <https://www.researchgate.net/publication/277013681>
 - [31] Egdell, R. G., Henrich, V. E., Bowdler, R. and Sekine, T. (2003) *J. Appl. Phys* 94, 6611.
 - [32] Jiang, J. Z., Lindelov, H., Gerward, L., Stahl, K., Recio, J. M., Mori-Sanchez, P., Carlson, S., Mezouar, M., Dooryhee, E., Fitch, A. and Frost, D. J. (2002) *Phys. Rev. B, Rapid Communications*, 65, 161202(R).
 - [33] Sch  rmann, J., As, D. J., Lischka, K., Schley, P., Goldhahn, R., Li, S. F., L  ffler, W., Hetterich, M. and H. Kalt (2006) *Appl. Phys. Lett.* 89, 261903.
 - [34] Bagayoko, Diola, Franklin, Lashounda and Zhao, G. L. (2004) *J. Appl. Phys.* 96, 4297-4301.
 - [35] Wu, J. et al. (2003) *J. Appl. Phys.* 94, 4457 and (2002) *Appl. Phys. Lett.* 80, 3967.
 - [36] Santara, Batakrushna, Giri, P. K., Imakita, Kenji and Fujii, Minoru (2014) *J. Phys. D: Appl. Phys.* 47, 215302.
 - [37] A. K. Rajagopal, A. K. and Callaway, J. (1973) *Phys. Rev. B*, 7, 1912.
 - [38] Schweber, S. S. (1961) *An Introduction to Relativistic Quantum Field Theory*, Harper and Row, New York, especially Page 10.

Transmutation Espace-temps

Bréhima Dembélé

Pharmacie du Nouveau Pont, Kayes
Contact: nouvpoint@orangemali.net

Abstract

La configuration de Lorentz-Poincaré est la plus concordante pour un continuum espace-temps de Minkowski, en relativité restreinte et en théorie quantique des champs. Ailleurs, il s'avère nécessaire d'adopter d'autres espace-temps de dimensions supérieures à 4 comme dans les théories branaires. Nous nous proposons de démontrer ici qu'il existe d'autres continiums espace-temps de Minkowski en d'autres branes cachées mais accessibles par un phénomène dit de transmutation inverse que nous spécifierons.

De notre brane actuelle, celles là paraissent repliées sur elles-mêmes. La transmutation permet de retrouver les transformations propres et orthochrones de Lorentz-Poincaré, partant de celles des branes cachées.

Keywords espace-temps, dimensions, configuration, brane, transmutation inverse.

1 Introduction

Les questionnements divers en physique contemporaine nous ont incité à revoir en sa racine la configuration espace-temps de Lorentz-Poincaré : de l'apparente distinction entre physique classique et physique quantique au voile de la matière noire, ... [1], [2], [3], [4]. En relativité, la vitesse de translation rectiligne permet de distinguer un référentiel inertiel d'un autre mais ici nous nous proposons d'y adjoindre leur appartenance branaire comme indispensable [5].

2 Méthode

Supposons que nous sommes dans un autre univers physique réel, pourrions nous l'appeler

"brane", où la relativité restreinte est supposée valable. Pour simplifier les calculs, partons de 2 référentiels d'inertie $\mathbf{R}_1$ fixes et $\mathbf{R}_2$ en mouvement par rapport au premier où les systèmes d'axes de coordonnées $(X_1, Y_1, Z_1, \theta_1)$ et $(X_2, Y_2, Z_2, \theta_2)$ sont parallèles et les axes O_1X_1 et O_2X_2 sont confondus et parallèles à la vitesse de translation rectiligne et uniforme v_1 , bien entendu que les origines O_1 et O_2 coïncident en même temps que les horloges solidaires à chaque système de référence [6], [7]. De la constance de la vitesse de la lumière C dans $\mathbf{R}_2$ tout comme dans $\mathbf{R}_1$, nous pouvons écrire [5], [7] :

$$X_2 - C\theta_2 = 0 \Leftrightarrow X_1 - C\theta_1 = 0 \quad (1)$$

Ce qui peut s'écrire aussi :

$$\begin{aligned} S_2(l_1k_2X_2 - q_2C\theta_2) &= 0 \\ \Updownarrow \\ S_1[(a_1 - a_2)k_1X_1 + (b_1 - b_2)q_1C\theta_1] &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

avec

$$\begin{cases} l_1k_2 = q_2 \\ (a_1 - a_2)k_1 = -(b_1 - b_2)q_1 \\ a_1 - a_2 \neq 0 \neq b_1 - b_2 \end{cases} \quad (3)$$

tels que $S_1, S_2, l_1, k_1, k_2, q_1, q_2, a_1, b_2$ des paramètres réels non nuls et a_2, b_1 des paramètres réels.

Une solution de la relation (2) est qu'il existe ν réel tel que :

$$\begin{cases} S_2l_1k_2X_2 = S_1(a_1k_1X_1 + b_1q_1C\theta_1) + \nu \\ S_2q_2C\theta_2 = S_1(a_2k_1X_1 + b_2q_1C\theta_1) + \nu \\ X_2 - C\theta_2 = 0 \\ \nu \in \mathbf{R} \end{cases} \quad (4)$$

Posons

$$\begin{cases} a_1 - a_2 = N_1\lambda_1 \\ b_1 - b_2 = M_1\lambda_1 \\ a_1 + a_2 = N_2\lambda_2 \\ b_1 + b_2 = M_2\lambda_2 \end{cases} \quad (5)$$

avec N_1, M_1, λ_1 des paramètres réels non nuls et λ_2 un paramètre réel.

En soustrayant puis en additionnant les deux premières équations du système (3), nous obtenons

$$\begin{cases} S_2(l_1 k_2 X_2 - q_2 C\theta_2) = S_1 \lambda_1 (N_1 k_1 X_1 + M_1 q_1 C\theta_1) \\ S_2(l_1 k_2 X_2 + q_2 C\theta_2) = S_1 \lambda_2 (N_2 k_1 X_1 + M_2 q_1 C\theta_1) \end{cases} \quad (6)$$

En additionnant puis en soustrayant les équations du système précédent nous obtenons

$$\begin{cases} 2S_2 l_1 k_2 X_2 = S_1 \left(N_1 \lambda_1 + N_2 \lambda_2 \right) k_1 X_1 + S_1 \left(M_1 \lambda_1 + M_2 \lambda_2 \right) q_1 C\theta_1 \\ -2S_2 q_2 C\theta_2 = S_1 \left(N_1 \lambda_1 - N_2 \lambda_2 \right) k_1 X_1 + S_1 \left(M_1 \lambda_1 - M_2 \lambda_2 \right) q_1 C\theta_1 \end{cases} \quad (7)$$

Posons

$$\begin{cases} N_1 \lambda_1 + N_2 \lambda_2 = n_1 (\lambda_1 + \lambda_2) \\ M_1 \lambda_1 + M_2 \lambda_2 = \lambda_1 - \lambda_2 \\ N_1 \lambda_1 - N_2 \lambda_2 = \lambda_1 - \lambda_2 \\ M_1 \lambda_1 - M_2 \lambda_2 = n_2 (\lambda_1 + \lambda_2) \\ n_1, n_2 \in \mathbf{R} \end{cases} \quad (8)$$

Du système (8) nous tirons n_1 et n_2 :

$$\begin{cases} n_1 = N_1 \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} + N_2 \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \\ M_2 \lambda_2 = (\lambda_1 - \lambda_2) - M_1 \lambda_1 \\ N_2 \lambda_2 = N_1 \lambda_1 - (\lambda_1 - \lambda_2) \\ n_2 = M_1 \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} - M_2 \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \\ \lambda_1 + \lambda_2 \neq 0 \end{cases} \quad (9)$$

d'où

$$\begin{cases} n_1 = 2N_1 \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} - \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \\ n_2 = 2M_1 \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} - \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \end{cases} \quad (10)$$

Des systèmes d'équations (7) et (8) nous avons

$$\begin{cases} S_2 l_1 k_2 X_2 = n_1 S_1 \left(\frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} \right) k_1 X_1 + S_1 \left(\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{2} \right) q_1 C\theta_1 \\ S_2 q_2 C\theta_2 = -S_1 \left(\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{2} \right) k_1 X_1 - S_1 \left(\frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} \right) q_1 C\theta_1 \end{cases} \quad (11)$$

Pour simplifier les écritures, posons

$$\begin{cases} \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} = a \\ \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{2} = b \end{cases} \quad (12)$$

De là, le système d'équations (11) devient

$$\begin{cases} S_2 q_2 X_2 = S_1 (a n_1 k_1 X_1 + b q_1 C\theta_1) \\ S_2 q_2 C\theta_2 = S_1 (-b k_1 X_1 - a n_2 q_1 C\theta_1) \end{cases} \quad (13)$$

d'où, en divisant chaque équation du système (13) par $S_2 q_2 \neq 0$ et en posant

$$\begin{cases} \frac{S_1}{S_2} = S \\ n_1 = n_2 = n \end{cases} \quad (14)$$

nous obtenons

$$\begin{cases} C\theta_2 = -a \frac{S_1}{S_2} \left(\frac{b}{a} \frac{k_1}{q_2} X_1 + n \frac{q_1}{q_2} C\theta_1 \right) \\ X_2 = a \frac{S_1}{S_2} \left(n \frac{k_1}{q_2} X_1 + \frac{b}{a} \frac{q_1}{q_2} C\theta_1 \right) \end{cases} \quad (15)$$

$$\begin{cases} C\theta_2 = -aS(\beta_1 k X_1 + nq C\theta_1) \\ X_2 = aS(nk X_1 + \beta_1 q C\theta_1) \end{cases} \quad (16)$$

3 Discussion

3.1 Transmutations des référentiels (X_2, θ_2) au référentiel (x_2, t_2)

Nous y décrivons littéralement la technique de transmutation comme suit

$$\begin{cases} \theta_2 t_1 = t_2 \theta_1 \\ \theta_1 t_1 = t_1 \theta_1 \\ \beta X_2 t_1 = \alpha x_2 \theta_1 \\ \beta X_1 t_1 = \alpha x_1 \theta_1 \\ \alpha^2 = \beta^2 = \mathbf{1} \\ \Lambda_1 = \frac{\alpha}{n\beta} \\ \Lambda_2 = \frac{\beta}{n\alpha} \end{cases} \quad (17)$$

où α, β, Λ_1 et Λ_2 sont les matrices de transmutation espace-temps inversibles.

3.1.1 1er Cas

$$\begin{cases} \beta_1 = \frac{b}{a} \\ \frac{k_1}{q_2} = k \\ \frac{q_1}{q_2} = q \end{cases} \quad (18)$$

En multipliant respectivement la première et la deuxième équation du système (16) par βt_1 , nous obtenons

$$\begin{cases} C\beta\theta_2 t_1 = -aS(\beta_1 k \beta X_1 t_1 + nq C\beta\theta_1 t_1) \\ \beta X_2 t_1 = aS(nk \beta X_1 t_1 + \beta_1 q C\beta\theta_1 t_1) \\ \alpha^2 = \beta^2 = \mathbf{1} \end{cases} \quad (19)$$

L'action de la matrice β sur les coordonnées $(C\theta, X)$ engendre par transmutation les nouvelles coordonnées espace-temps (Ct, x) :

$$\begin{cases} C\beta t_2 \theta_1 = -aS(\beta_1 k \alpha x_1 \theta_1 + nq C\beta t_1 \theta_1) \\ \alpha x_2 \theta_1 = aS(nk \alpha x_1 \theta_1 + \beta_1 q C\beta t_1 \theta_1) \\ \alpha^2 = \beta^2 = \mathbf{1} \end{cases} \quad (20)$$

Si $\theta_1 \neq 0$, alors

$$\begin{cases} \beta C t_2 = aS(-\beta_1 k \alpha x_1 - nq \beta C t_1) \\ \alpha x_2 = aS(nk \alpha x_1 + \beta_1 q \beta C t_1) \\ \alpha^2 = \beta^2 = \mathbf{1} \end{cases} \quad (21)$$

De l'équation (17), nous constatons que les re-tranchements dimensionnels d'espaces-temps de coordonnées $(C\theta, X)$ et (Ct, x) se dilatent et se contractent

identiquement comme suit:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{t_2}{t_1} \\ \frac{X_2}{X_1} = \frac{x_2}{x_1} \\ \theta_1 \neq 0 \\ t_1 \neq 0 \\ X_1 \neq 0 \\ x_1 \neq 0 \end{array} \right. \quad (22)$$

Il suffit d'adjoindre au système d'équations (14) et (18) les conditions suivantes

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{k}{q} = K = +1 \\ nasq = \epsilon\gamma \\ \epsilon = \pm 1 \\ \Lambda_1 = -\Lambda_2 = +1 \end{array} \right. \quad (23)$$

pour retrouver à partir du système (19) la configuration classique de Lorentz de l'espace-temps de Minkowski, à savoir

$$\left\{ \begin{array}{l} Ct_2 = \epsilon\gamma(-\beta_1 x_1 + Ct_1) \\ x_2 = \epsilon\gamma(x_1 - \beta_1 Ct_1) \end{array} \right. \quad (24)$$

3.1.2 2ème Cas

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta_1 = \frac{b}{a} \\ \frac{k_1}{q_2} = -k \\ \frac{q_1}{q_2} = -q \\ \frac{k}{q} = K = -1 \\ nasq = \epsilon\gamma \\ \Lambda_1 = \Lambda_2 = +1 \end{array} \right. \quad (25)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C\theta_2 = -a\frac{S_1}{S_2}\left(\frac{b}{a}\frac{k_1}{q_2}X_1 + n\frac{q_1}{q_2}C\theta_1\right) \\ X_2 = a\frac{S_1}{S_2}\left(n\frac{k_1}{q_2}X_1 + \frac{b}{a}\frac{q_1}{q_2}C\theta_1\right) \end{array} \right. \quad (26)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C\theta_2 = aS(\beta_1 kX_1 + nqC\theta_1) \\ X_2 = aS(-nkX_1 - \beta_1 qC\theta_1) \end{array} \right. \quad (27)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C\theta_2 = naSq\left(\frac{\beta_1}{n}\frac{k}{q}X_1 + C\theta_1\right) \\ X_2 = naSq\left(-\frac{k}{q}X_1 - \frac{\beta_1}{n}C\theta_1\right) \end{array} \right. \quad (28)$$

Par transmutation (βt_1) nous avons

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta Ct_2 = \epsilon\gamma(-\beta_1 \frac{\alpha}{n}x_1 + \beta Ct_1) \\ \alpha x_2 = \epsilon\gamma(\alpha x_1 - \beta_1 \frac{\beta}{n}Ct_1) \end{array} \right. \quad (29)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Ct_2 = \epsilon\gamma(-\beta_1 \Lambda_1 x_1 + Ct_1) \\ x_2 = \epsilon\gamma(x_1 - \beta_1 \Lambda_2 Ct_1) \end{array} \right. \quad (30)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Ct_2 = \epsilon\gamma(-\beta_1 x_1 + Ct_1) \\ x_2 = \epsilon\gamma(x_1 - \beta_1 Ct_1) \end{array} \right. \quad (31)$$

3.1.3 3ème Cas

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta_1 = -\frac{b}{a} \\ \frac{k_1}{q_2} = k \\ \frac{q_1}{q_2} = -q \\ \frac{k}{q} = K = +1 \\ nasq = \epsilon\gamma \\ \Lambda_1 = \Lambda_2 = -1 \end{array} \right. \quad (32)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C\theta_2 = a\frac{S_1}{S_2}\left(-\frac{b}{a}\frac{k_1}{q_2}X_1 - n\frac{q_1}{q_2}C\theta_1\right) \\ X_2 = a\frac{S_1}{S_2}\left(n\frac{k_1}{q_2}X_1 + \frac{b}{a}\frac{q_1}{q_2}C\theta_1\right) \end{array} \right. \quad (33)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C\theta_2 = aS(\beta_1 kX_1 + nqC\theta_1) \\ X_2 = aS(nkX_1 + \beta_1 qC\theta_1) \end{array} \right. \quad (34)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C\theta_2 = naSq\left(\frac{\beta_1}{n}\frac{k}{q}X_1 + C\theta_1\right) \\ X_2 = naSq\left(\frac{k}{q}X_1 + \frac{\beta_1}{n}C\theta_1\right) \end{array} \right. \quad (35)$$

Par transmutation (βt_1) nous avons

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta Ct_2 = \epsilon\gamma(\beta_1 \frac{\alpha}{n}x_1 + \beta Ct_1) \\ \alpha x_2 = \epsilon\gamma(\alpha x_1 + \beta_1 \frac{\beta}{n}Ct_1) \end{array} \right. \quad (36)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Ct_2 = \epsilon\gamma(\beta_1 \Lambda_1 x_1 + Ct_1) \\ x_2 = \epsilon\gamma(x_1 + \beta_1 \Lambda_2 Ct_1) \end{array} \right. \quad (37)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Ct_2 = \epsilon\gamma(-\beta_1 x_1 + Ct_1) \\ x_2 = \epsilon\gamma(x_1 - \beta_1 Ct_1) \end{array} \right. \quad (38)$$

3.1.4 4ème Cas

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta_1 = -\frac{b}{a} \\ \frac{k_1}{q_2} = k \\ \frac{q_1}{q_2} = -q \\ \frac{k}{q} = K = +1 \\ nasq = \epsilon\gamma \\ \Lambda_1 = -\Lambda_2 = +1 \end{array} \right. \quad (39)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C\theta_2 = a\frac{S_1}{S_2}\left(-\frac{b}{a}\frac{k_1}{q_2}X_1 - n\frac{q_1}{q_2}C\theta_1\right) \\ X_2 = a\frac{S_1}{S_2}\left(n\frac{k_1}{q_2}X_1 + \frac{b}{a}\frac{q_1}{q_2}C\theta_1\right) \end{array} \right. \quad (40)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C\theta_2 = aS(\beta_1 kX_1 + nqC\theta_1) \\ X_2 = aS(nkX_1 - \beta_1 qC\theta_1) \end{array} \right. \quad (41)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C\theta_2 = naSq\left(\frac{\beta_1}{n}\frac{k}{q}X_1 + C\theta_1\right) \\ X_2 = naSq\left(\frac{k}{q}X_1 - \frac{\beta_1}{n}C\theta_1\right) \end{array} \right. \quad (42)$$

Par transmutation (βt_1) nous avons

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta Ct_2 = \epsilon\gamma(\beta_1 \frac{\alpha}{n}x_1 + \beta Ct_1) \\ \alpha x_2 = \epsilon\gamma(\alpha x_1 - \beta_1 \frac{\beta}{n}Ct_1) \end{array} \right. \quad (43)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Ct_2 = \epsilon\gamma(\beta_1 \Lambda_1 x_1 + Ct_1) \\ x_2 = \epsilon\gamma(x_1 - \beta_1 \Lambda_2 Ct_1) \end{array} \right. \quad (44)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Ct_2 = \epsilon\gamma(-\beta_1 x_1 + Ct_1) \\ x_2 = \epsilon\gamma(x_1 - \beta_1 Ct_1) \end{array} \right. \quad (45)$$

3.1.5 5ème Cas

$$\begin{cases} \beta_1 = \frac{b}{a} \\ \frac{k_1}{q_2} = k \\ \frac{q_1}{q_2} = q \\ \frac{k}{q} = K = -1 \\ nasq = \epsilon\gamma \\ \Lambda_1 = \Lambda_2 = +1 \end{cases} \quad (46)$$

$$\begin{cases} C\theta_2 = -a\frac{S_1}{S_2}\left(\frac{b}{a}\frac{k_1}{q_2}X_1 + n\frac{q_1}{q_2}C\theta_1\right) \\ X_2 = -a\frac{S_1}{S_2}\left(-n\frac{k_1}{q_2}X_1 - \frac{b}{a}\frac{q_1}{q_2}C\theta_1\right) \end{cases} \quad (47)$$

$$\begin{cases} C\theta_2 = -aS(\beta_1 k X_1 + nqC\theta_1) \\ X_2 = -aS(-nkX_1 - \beta_1 qC\theta_1) \end{cases} \quad (48)$$

$$\begin{cases} C\theta_2 = -naSq\left(\frac{\beta_1}{n}\frac{k}{q}X_1 + C\theta_1\right) \\ X_2 = -naSq\left(-\frac{k}{q}X_1 - \frac{\beta_1}{n}C\theta_1\right) \end{cases} \quad (49)$$

Par transmutation (β_1) nous avons

$$\begin{cases} \beta Ct_2 = -\epsilon\gamma(\beta_1 K \frac{\alpha}{n}x_1 + \beta Ct_1) \\ \alpha x_2 = -\epsilon\gamma(-\alpha K x_1 - \beta_1 \frac{\beta}{n}Ct_1) \end{cases} \quad (50)$$

$$\begin{cases} Ct_2 = -\epsilon\gamma(\beta_1 K \Lambda_1 x_1 + Ct_1) \\ x_2 = -\epsilon\gamma(-K x_1 - \beta_1 \Lambda_2 Ct_1) \end{cases} \quad (51)$$

$$\begin{cases} Ct_2 = -\epsilon\gamma(-\beta_1 x_1 + Ct_1) \\ x_2 = -\epsilon\gamma(x_1 - \beta_1 Ct_1) \end{cases} \quad (52)$$

3.1.6 6ème Cas

$$\begin{cases} \beta_1 = -\frac{b}{a} \\ \frac{k_1}{q_2} = k \\ \frac{q_1}{q_2} = q \\ \frac{k}{q} = K = -1 \\ nasq = \epsilon\gamma \\ \Lambda_1 = \Lambda_2 = -1 \end{cases} \quad (53)$$

$$\begin{cases} C\theta_2 = -a\frac{S_1}{S_2}\left(\frac{b}{a}\frac{k_1}{q_2}X_1 + n\frac{q_1}{q_2}C\theta_1\right) \\ X_2 = -a\frac{S_1}{S_2}\left(-n\frac{k_1}{q_2}X_1 - \frac{b}{a}\frac{q_1}{q_2}C\theta_1\right) \end{cases} \quad (54)$$

$$\begin{cases} C\theta_2 = -aS(-\beta_1 k X_1 + nqC\theta_1) \\ X_2 = -aS(-nkX_1 + \beta_1 qC\theta_1) \end{cases} \quad (55)$$

$$\begin{cases} C\theta_2 = -naSq\left(-\frac{\beta_1}{n}\frac{k}{q}X_1 + C\theta_1\right) \\ X_2 = -naSq\left(-\frac{k}{q}X_1 + \frac{\beta_1}{n}C\theta_1\right) \end{cases} \quad (56)$$

Par transmutation (β_1) nous avons

$$\begin{cases} \beta Ct_2 = -\epsilon\gamma(-\beta_1 K \frac{\alpha}{n}x_1 + \beta Ct_1) \\ \alpha x_2 = -\epsilon\gamma(-\alpha K x_1 + \beta_1 \frac{\beta}{n}Ct_1) \end{cases} \quad (57)$$

$$\begin{cases} Ct_2 = -\epsilon\gamma(-\beta_1 K \Lambda_1 x_1 + Ct_1) \\ x_2 = -\epsilon\gamma(-K x_1 + \beta_1 \Lambda_2 Ct_1) \end{cases} \quad (58)$$

$$\begin{cases} Ct_2 = -\epsilon\gamma(-\beta_1 x_1 + Ct_1) \\ x_2 = -\epsilon\gamma(x_1 - \beta_1 Ct_1) \end{cases} \quad (59)$$

3.1.7 7ème Cas

$$\begin{cases} \beta_1 = -\frac{b}{a} \\ \frac{k_1}{q_2} = -k \\ \frac{q_1}{q_2} = q \\ \frac{k}{q} = K = +1 \\ nasq = \epsilon\gamma \\ \Lambda_1 = \Lambda_2 = -1 \end{cases} \quad (60)$$

$$\begin{cases} C\theta_2 = -a\frac{S_1}{S_2}\left(\frac{b}{a}\frac{k_1}{q_2}X_1 + n\frac{q_1}{q_2}C\theta_1\right) \\ X_2 = -a\frac{S_1}{S_2}\left(-n\frac{k_1}{q_2}X_1 - \frac{b}{a}\frac{q_1}{q_2}C\theta_1\right) \end{cases} \quad (61)$$

$$\begin{cases} C\theta_2 = -aS(\beta_1 k X_1 + nqC\theta_1) \\ X_2 = -aS(nkX_1 + \beta_1 qC\theta_1) \end{cases} \quad (62)$$

$$\begin{cases} \beta Ct_2 = -\epsilon\gamma(\beta_1 K \frac{\alpha}{n}x_1 + \beta Ct_1) \\ \alpha x_2 = -\epsilon\gamma(\alpha K x_1 + \beta_1 \frac{\beta}{n}Ct_1) \end{cases} \quad (63)$$

$$\begin{cases} Ct_2 = -\epsilon\gamma(\beta_1 K \Lambda_1 x_1 + Ct_1) \\ x_2 = -\epsilon\gamma(K x_1 + \beta_1 \Lambda_2 Ct_1) \end{cases} \quad (64)$$

$$\begin{cases} Ct_2 = -\epsilon\gamma(-\beta_1 x_1 + Ct_1) \\ x_2 = -\epsilon\gamma(x_1 - \beta_1 Ct_1) \end{cases} \quad (65)$$

3.1.8 8ème Cas

$$\begin{cases} \beta_1 = -\frac{b}{a} \\ \frac{k_1}{q_2} = k \\ \frac{q_1}{q_2} = q \\ \frac{k}{q} = K = -1 \\ nasq = \epsilon\gamma \\ \Lambda_1 = \Lambda_2 = -1 \end{cases} \quad (66)$$

$$\begin{cases} C\theta_2 = -a\frac{S_1}{S_2}\left(\frac{b}{a}\frac{k_1}{q_2}X_1 + n\frac{q_1}{q_2}C\theta_1\right) \\ X_2 = -a\frac{S_1}{S_2}\left(-n\frac{k_1}{q_2}X_1 - \frac{b}{a}\frac{q_1}{q_2}C\theta_1\right) \end{cases} \quad (67)$$

$$\begin{cases} C\theta_2 = -aS(-\beta_1 k X_1 + nqC\theta_1) \\ X_2 = -aS(-nkX_1 + \beta_1 qC\theta_1) \end{cases} \quad (68)$$

$$\begin{cases} \beta Ct_2 = -\epsilon\gamma(-\beta_1 K \frac{\alpha}{n}x_1 + \beta Ct_1) \\ \alpha x_2 = -\epsilon\gamma(-\alpha K x_1 + \beta_1 \frac{\beta}{n}Ct_1) \end{cases} \quad (69)$$

$$\begin{cases} Ct_2 = -\epsilon\gamma(-\beta_1 K \Lambda_1 x_1 + Ct_1) \\ x_2 = -\epsilon\gamma(-K x_1 + \beta_1 \Lambda_2 Ct_1) \end{cases} \quad (70)$$

$$\begin{cases} Ct_2 = -\epsilon\gamma(-\beta_1 x_1 + Ct_1) \\ x_2 = -\epsilon\gamma(x_1 - \beta_1 Ct_1) \end{cases} \quad (71)$$

3.1.9 9ème Cas

$$\begin{cases} \beta_1 = \frac{b}{a} \\ \frac{k_1}{q_2} = k \\ \frac{q_1}{q_2} = q \\ \frac{k}{q} = K = -1 \\ nasq = \epsilon\gamma \\ \Lambda_1 = \Lambda_2 = +1 \end{cases} \quad (72)$$

$$\begin{cases} C\theta_2 = -a\frac{S_1}{S_2}\left(\frac{b}{a}\frac{k_1}{q_2}X_1 + n\frac{q_1}{q_2}C\theta_1\right) \\ X_2 = a\frac{S_1}{S_2}\left(n\frac{k_1}{q_2}X_1 + \frac{b}{a}\frac{q_1}{q_2}C\theta_1\right) \end{cases} \quad (73)$$

$$\begin{cases} C\theta_2 = -aS(\beta_1 k X_1 + nqC\theta_1) \\ X_2 = -aS(-nkX_1 - \beta_1 qC\theta_1) \end{cases} \quad (74)$$

$$\begin{cases} C\theta_2 = -naSq(\frac{\beta_1 k}{n} X_1 + C\theta_1) \\ X_2 = -naSq(-\frac{k}{q} X_1 - \frac{\beta_1}{n} C\theta_1) \end{cases} \quad (75)$$

Par transmutation (βt_1) nous avons

$$\begin{cases} \beta C t_2 = -\epsilon\gamma(\beta_1 K \frac{\alpha}{n} x_1 + \beta C t_1) \\ \alpha x_2 = -\epsilon\gamma(-\alpha K x_1 + \beta_1 \frac{\beta}{n} C t_1) \end{cases} \quad (76)$$

$$\begin{cases} C t_2 = -\epsilon\gamma(\beta_1 K \Lambda_1 x_1 + C t_1) \\ x_2 = -\epsilon\gamma(-K x_1 + \beta_1 \Lambda_2 C t_1) \end{cases} \quad (77)$$

$$\begin{cases} C t_2 = -\epsilon\gamma(-\beta_1 x_1 + C t_1) \\ x_2 = -\epsilon\gamma(x_1 - \beta_1 C t_1) \end{cases} \quad (78)$$

3.1.10 10ème Cas

$$\begin{cases} \beta_1 = \frac{b}{a} \\ \frac{k_1}{q_2} = k \\ \frac{q_1}{q_2} = -q \\ \frac{k}{q} = K = +1 \\ nasq = \epsilon\gamma \\ \Lambda_1 = \Lambda_2 = +1 \end{cases} \quad (79)$$

$$\begin{cases} C\theta_2 = -a\frac{S_1}{S_2}(\frac{b}{a}\frac{k_1}{q_2} X_1 + n\frac{q_1}{q_2} C\theta_1) \\ X_2 = -a\frac{S_1}{S_2}(-n\frac{k_1}{q_2} X_1 - \frac{b}{a}\frac{q_1}{q_2} C\theta_1) \end{cases} \quad (80)$$

$$\begin{cases} C\theta_2 = -aS(\beta_1 k X_1 - nqC\theta_1) \\ X_2 = -aS(-nkX_1 + \beta_1 qC\theta_1) \end{cases} \quad (81)$$

$$\begin{cases} C\theta_2 = -naSq(\frac{\beta_1 k}{n} X_1 - C\theta_1) \\ X_2 = -naSq(-\frac{k}{q} X_1 + \frac{\beta_1}{n} C\theta_1) \end{cases} \quad (82)$$

Par transmutation (βt_1) nous avons

$$\begin{cases} \beta C t_2 = -\epsilon\gamma(\beta_1 K \frac{\alpha}{n} x_1 - \beta C t_1) \\ \alpha x_2 = -\epsilon\gamma(-\alpha K x_1 + \beta_1 \frac{\beta}{n} C t_1) \end{cases} \quad (83)$$

$$\begin{cases} C t_2 = -\epsilon\gamma(\beta_1 K \Lambda_1 x_1 - C t_1) \\ x_2 = -\epsilon\gamma(-K x_1 + \beta_1 \Lambda_2 C t_1) \end{cases} \quad (84)$$

$$\begin{cases} C t_2 = \epsilon\gamma(-\beta_1 K \Lambda_1 x_1 + C t_1) \\ x_2 = \epsilon\gamma(K x_1 - \beta_1 \Lambda_2 C t_1) \end{cases} \quad (85)$$

3.2 Transmutations des référentiels (X_1, θ_1) au référentiel (x_1, t_1)

Les formules de transmutations y sont :

$$\begin{cases} \theta_1 t_2 = t_1 \theta_2 \\ \theta_2 t_2 = t_2 \theta_2 \\ \beta X_1 t_2 = \alpha x_1 \theta_2 \\ \beta X_2 t_2 = \alpha x_2 \theta_2 \\ \alpha^2 = \beta^2 = 1 \\ \Lambda_1 = \frac{\alpha}{n\beta} \\ \Lambda_2 = \frac{\beta}{n\alpha} \end{cases} \quad (86)$$

où α , β , Λ_1 et Λ_2 sont les matrices de transmutation espace-temps inversibles.

L'équation du même phénomène dans $\mathbf{R}_1$ est :

$$\begin{cases} C\theta_1 = \epsilon\gamma(\frac{\beta_1}{n} K X_2 + C\theta_2) \\ X_1 = \epsilon\gamma(K X_2 + \frac{\beta_1}{n} C\theta_2) \end{cases} \quad (87)$$

En multipliant chaque équation du système précédent par βt_2 , nous avons :

$$\begin{cases} Cn\beta\theta_1 t_2 = \epsilon\gamma(\beta_1 K \beta X_2 t_2 + Cn\beta\theta_2 t_2) \\ n\beta X_1 t_2 = \epsilon\gamma(Kn\beta X_2 t_2 + \beta_1 C\beta\theta_2 t_2) \end{cases} \quad (88)$$

Par transmutation, nous avons :

$$\begin{cases} Cn\beta t_1 \theta_2 = \epsilon\gamma(\beta_1 K \alpha x_2 \theta_2 + nC\beta t_2 \theta_2) \\ n\alpha x_1 \theta_2 = \epsilon\gamma(nK \alpha x_2 \theta_2 + \beta_1 C\beta t_2 \theta_2) \end{cases} \quad (89)$$

Simplifions la première équation du système (89) par $n\beta\theta_2 \neq 0$ et la deuxième par $n\alpha\theta_2 \neq 0$.

$$\begin{cases} C t_1 = \epsilon\gamma(\beta_1 K \Lambda_1 x_2 + C t_2) \\ x_1 = \epsilon\gamma(K x_2 + \beta_1 \Lambda_2 C t_2) \end{cases} \quad (90)$$

3.3 Transmutations inverses du référentiel (x_2, t_2) au référentiel (X_1, θ_1)

Les formules littérales de cette transmutation inverse s'écrivent comme suit :

$$\begin{cases} \alpha\theta_1 t_1 = \beta t_2 \theta_2 \\ \alpha\theta_2 t_1 = \beta t_1 \theta_2 \\ X_1 t_1 = x_2 \theta_2 \\ X_2 t_1 = x_1 \theta_2 \\ \alpha^2 = \beta^2 = 1 \\ \Lambda_1 = \frac{\alpha}{n\beta} \\ \Lambda_2 = \frac{\beta}{n\alpha} \end{cases} \quad (91)$$

où α , β , Λ_1 et Λ_2 sont les matrices de transmutation espace-temps inversibles.

$$\begin{cases} C t_2 = \epsilon\gamma(\beta_1 K \Lambda_1 x_1 + C t_1) \\ x_2 = \epsilon\gamma(K x_1 + \beta_1 \Lambda_2 C t_1) \end{cases} \quad (92)$$

En multipliant chaque équation du système précédent par $\theta_2 \neq 0$, nous aurons

$$\begin{cases} n\beta C t_2 \theta_2 = \epsilon\gamma(\beta_1 K \alpha x_1 \theta_2 + n\beta C t_1 \theta_2) \\ n\alpha x_2 \theta_2 = \epsilon\gamma(nK \alpha x_1 \theta_2 + \beta_1 \beta C t_1 \theta_2) \end{cases} \quad (93)$$

Par transmutation inverse, nous avons:

$$\begin{cases} n\alpha C\theta_1 t_1 = \epsilon\gamma(\beta_1 K \alpha X_2 t_1 + n\alpha C\theta_2 t_1) \\ n\alpha X_1 t_1 = \epsilon\gamma(nK \alpha X_2 t_1 + \beta_1 \alpha C\theta_2 t_1) \end{cases} \quad (94)$$

En simplifiant les équations ci-dessus par $n\alpha t_1 \neq 0$, nous retrouvons la configuration de l'événement étudié dans l'un des référentiels (X_1, θ_1):

$$\begin{cases} C\theta_1 = \epsilon\gamma(\frac{\beta_1}{n} K X_2 + C\theta_2) \\ X_1 = \epsilon\gamma(K X_2 + \frac{\beta_1}{n} C\theta_2) \end{cases} \quad (95)$$

3.4 Transmutations inverses du référentiel (x_1, t_1) au référentiel (X_2, θ_2)

Les formules littérales de cette transmutation inverse s'écrivent comme suit :

$$\begin{cases} \alpha\theta_2 t_2 = n\beta t_1 \theta_1 \\ \alpha\theta_1 t_2 = n\beta t_2 \theta_1 \\ X_2 t_2 = nx_1 \theta_1 \\ X_1 t_2 = nx_2 \theta_1 \\ \alpha^2 = (n\beta)^2 = 1 \\ \Lambda_1 = \frac{\alpha}{n\beta} \\ \Lambda_2 = \frac{\beta}{n\alpha} \end{cases} \quad (96)$$

$$\begin{cases} n\beta C t_1 = \epsilon\gamma(-\beta_1 K \alpha x_2 + n\beta C t_2) \\ n\alpha x_1 = \epsilon\gamma(nK \alpha x_2 - \beta_1 \beta C t_2) \end{cases} \quad (97)$$

En multipliant chaque équation du système précédent par $\theta_1 \neq 0$, nous aurons

$$\begin{cases} n\beta C t_1 \theta_1 = \epsilon\gamma(-\beta_1 K \alpha x_2 \theta_1 + n\beta C t_2 \theta_1) \\ n\alpha x_1 \theta_1 = \epsilon\gamma(nK \alpha x_2 \theta_1 - \beta_1 \beta C t_2 \theta_1) \end{cases} \quad (98)$$

Par transmutation inverse nous avons,

$$\begin{cases} \alpha C \theta_2 t_2 = \epsilon\gamma(-\frac{\beta_1}{n} K \alpha X_1 t_2 + \alpha C \theta_1 t_2) \\ \alpha X_2 t_2 = \epsilon\gamma(K \alpha X_1 t_2 - \frac{\beta_1}{n} \alpha C \theta_1 t_2) \end{cases} \quad (99)$$

En simplifiant les équations ci-dessus par $\alpha t_2 \neq 0$, nous retrouvons la configuration de l'événement étudié dans l'un des référentiels (X_2, θ_2) :

$$\begin{cases} C \theta_2 = \epsilon\gamma(-\frac{\beta_1}{n} K X_1 + C \theta_1) \\ X_2 = \epsilon\gamma(K X_1 - \frac{\beta_1}{n} C \theta_1) \end{cases} \quad (100)$$

Dans les transmutations inverses ci-dessus, nous constatons que les retranchements dimensionnels d'espaces-temps de coordonnées $(C\theta, X)$ et (Ct, x) ne se dilatent pas et ne se contractent pas identiquement :

$$\begin{cases} \frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{t_1}{t_2} \\ \frac{X_2}{X_1} = \frac{x_1}{x_2} \\ \theta_1 \neq 0 \\ t_2 \neq 0 \\ X_1 \neq 0 \\ x_2 \neq 0 \end{cases} \quad (101)$$

4 Conclusion

Nous avons démontré qu'en plus de la nôtre, d'autres branes réelles existent et peuvent communiquer avec nous par la transmutation ou la transmutation inverse. Egalement, l'appartenance branaire est la condition nécessaire pour comparer deux référentiels inertiels.

5 Bibliographie

- (1) A. Einstein. Comment je vois le monde, Nouveaux Horizons, 243 pages. Flammarion 1979.
- (2) S. Hawking. Une brève histoire du temps, Du big bang aux trous noirs, 238 pages. Flammarion 1989.
- (3) J.C. Pecker et al. L'univers : des faits aux théories, 228 pages. Nouveaux Horizons 1998.
- (4) H. Andrillat et al. La cosmologie moderne, 224 pages. Masson 1998.
- (5) V. Ougarov. Théorie de la relativité restreinte, 2ème édition, 304 pages. Editions Mirs Moscou.
- (6) [https://fr.wikipedia.org/wiki/Transformations de Lorentz](https://fr.wikipedia.org/wiki/Transformations_de_Lorentz).
- (7) <http://www.sciences.ch/htmlfr/cosmologie/cosmorelativisteres01.php>

LISTE DES PARTICIPANTS

	Prénom et nom	Affiliation / Profession	Adresse
1	Kodjo AGBOSSOU	Université du Québec (UQTR)	Trois-Rivières, Québec, Canada
2	Amadou ALASSANE	Étudiant CFTS	Bamako, Mali
3	Alhousseyni ALMOUSTAPHA		
4	Mohamed AMARA	Centre Max Weber-Université Lyon 2	Lyon, France
5	Abrahamane ANNE	AGETIC et Association Malienne des Utilisateurs de Linux-AMULL	Bamako, Mali
6	Abdramane BA	FST-USTTB	Bamako, Mali
7	Mamadou BA	FMPOS	Bamako, Mali
8	Kadiatou BABA	Étudiante FSHSE	Bamako, Mali
9	Amadou Hamadoun BABANA	Labo de Biologie des Arthropodes	Katibougou, Mali
10	Amadou APHO BAH	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
11	Aminata BAH	Juriste	
12	Diola BAGAYOKO	Professeur distingué, University of the South and A&M College	Baton Rouge, Louisiane, USA
13	M. W. BAGAYOKO	LaboRem-BioTech, FST-USTTB	Bamako, Mali
14	Oumar BALLO	Ing-Télécoms Aéroports du Mali	Bamako-Sénou
15	Toumani BALLO	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
16	Adama BAMBA		
17	Cheick K. BAMBA		
18	Fatogoma BAMBA		
19	Alima BATHILY	Elève Lycée Technique	Sikasso, Mali
20	Aboubakar BENGALY	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
21	Ladji Y. BENGALY	Étudiant FST- USTTB	Bamako, Mali
22	Mamoutou BENGALY	USTTB-ISA	Bamako, Mali
23	Fousseyni BERTHE	Étudiant FST-USTTB	Bamako, Mali
24	Kya Abraham BERTHÉ	ENI-ABT	Bamako, Mali
25	Salif BERTHÉ	Fondation Karanta	Bamako, Mali
26	Souleymane BERTHÉ	Agence des énergies renouvelables	Bamako, Mali
27	Dramane BOLOZOGOLA	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
28	Kadidiatou BOUARÉ	ROCARE Mali	Bamako, Mali
29	Souleymane BOUARÉ	Etudiant FSEG	Bamako, Mali
30	Aly BONKANO	Enseignant, Lycée Technique	Sikasso, Mali
31	Alhousseïni BRETAUDEAU	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
32	Awa CAMARA	AVSF/PRCC	
33	Fatoumata CAMARA	CLO-MSAS	Bamako, Mali
34	Fatoumata CAMARA	Juriste	Bamako, Mali
35	Hawa Z. CAMARA	Étudiante FST	Bamako, Mali
36	Issa CAMARA	Étudiant	Bamako, Mali
37	Mamadou CAMARA	Énergie du Mali	Bamako, Mali
38	Massaman CAMARA	Neurologue	Bamako, Mali
39	Ramatoulaye CAMARA	Gestionnaire CNPV	Bamako, Mali
40	Saoudou CAMARA	Infirmière	

40	Abdoulaye S. Cissé	FST-USTTB	Bamako, Mali
41	Adama S. Cissé		
42	Alpha S. Cissé	Chercheur AMPRIT	Bamako, Mali
43	Ansoumane Cissé	Enseignant chercheur	
44	Fatoumata B. Cissé	Elève Lycée Technique	Sikasso, Mali
45	Fatoumata Y. Cissé	Étudiante	
46	Hadiaratou Cissé		Bamako
47	Mady Cissé	Université Cheikh Anta Diop (UCAD)	Dakar, Sénégal
48	Mamadou Cissé	Étudiant	Bamako, Mali
49	Nouhou Cissé		Bamako, Mali
50	Abdollah COULIBALY	Institut des hautes études en management (IHEM) Président du CO-Sommet Afrique-France	Bamako, Mali
51	Abdramane O. COULIBALY	Enseignant chercheur FST-USTTB	Bamako, Mali
52	Abou COULIBALY	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
53	Alou COULIBALY	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
54	Amadou Konotié COULIBALY	Labo de Biologie des Arthropodes, IPR-IFRA	Katibougou, Mali
55	Amoro COULIBALY	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
56	Arona COULIBALY	Laboratoire de Thermique Appliquée (LTA), ENI-ABT	Bamako, Mali
57	Cheick O. COULIBALY	Ing. informatique	
58	Chéibane COULIBALY	Université Mandé Bukari	Bamako, Mali
59	Drissa COULIBALY	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
60	Fatoumata COULIBALY	Elève Lycée Technique	Sikasso
61	Fousseyni COULIBALY	FST/USTTB	Bamako, Mali
62	Lassine COULIBALY	Etudiant	
63	Mahamane COULIBALY	Secrétaire	
64	Mamadou Y. COULIBALY	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
65	Mamy Drissa COULIBALY	Labo de Biologie des Arthropodes, IPR-IFRA	Katibougou, Mali
66	Modibo G COULIBALY	FOSCAR-MALI	Bamako, Mali
67	Ntò COULIBALY	Labo de Biologie des Arthropodes, IPR-IFRA	Katibougou, Mali
68	Salimata COULIBALY	Élève LSK	
69	Brahima DAKYO		
70	Sognon DAO		
71	Amalle Keïta DAOU	Centre hospitalier universitaire Le Luxembourg	Bamako
72	Adama DEMBÉLÉ		Bamako, Mali
73	Bakary D. DEMBÉLÉ	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
74	Bintou DEMBÉLÉ		
75	Bréhima DEMBÉLÉ	Pharmacie du Nouveau Pont	Kayes, Mali
76	Doulaye DEMBÉLÉ	CNRS	Strasbourg, France

77	Fadiala DEMBÉLÉ	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
78	Hawa Coulibaly DEMBÉLÉ	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
79	Issa DEMBÉLÉ	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
80	Morikè DEMBÉLÉ	ULSHB	Bamako, Mali
81	Sidiki Gabriel DEMBÉLÉ	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
82	Annie Searls DE GROOT	EpiVax/GAIA Vaccine Foundation/University of Rhode Island	Providence, Rhode Island, USA
83	Seydou DIABY	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
84	Abibatou DIAKITÉ	Etudiante FMOS	Bamako, Mali
85	Mamadou DIAKITÉ	Administrateur informatique	
86	Seydou DIAKITÉ		
87	Abdoulaye H. DIALLO	Gestionnaire	
88	Bakary DIALLO	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
89	Dapa Aliou DIALLO	Service d'hémo-oncologie, Faculté de Médecine	Bamako, Mali
90	Kangaye DIALLO	USTTB /FST	Bamako, Mali
91	Labass Lamine DIALLO	ULSHB	Bamako, Mali
92	Mohamed L. DIALLO	Étudiant	
93	Paara dit Mamadou DIALLO	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
94	Yacouba DIALLO	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
95	Adama DIARRA	École Gadiamory Keïta,	Bamako, Mali
96	Alassane DIARRA	Élève LGKF	Bamako, Mali
97	Bilaly DIARRA	Enseignant	Bamako, Mali
98	Diéfa DIARRA	ORTM	Bamako, Mali
99	Fatoumata DIARRA	Université Félix Houphouët-Boigny	Abidjan, Côte d'Ivoire
100	Fousséni DIARRA	Élève LGKF	Bamako, Mali
101	François DIARRA	Professeur	
102	M. Djibril DIARRA	IUDT-USSGB	Bamako, Mali
103	Djibril DIARRA	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
104	Madian dit Tiéman DIARRA	Institut d'Economie Rurale (IER)	Bamako, Mali
105	Mamadou DIARRA	Consultant énergie	Bamako, Mali
106	Mamadou Sanata DIARRA	DG ENI-ABT	Bamako, Mali
107	Marie DIARRA	Etudiante	
108	Oumou DIARRA	Etudiante FMOS	Bamako, Mali
109	Sabaké DIARRA	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
110	Mohamed Kolon DIARRA	Labo de Biologie des Arthropodes, IPR-IFRA	Katibougou, Mali
111	Ousmane DIARRA	Doctorant	

112	Siaka DIARRA	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
113	Adama DIAWARA	Étudiant FSLs	Bamako, Mali
114	Boubakar DIAWARA	Ecole Nationale Supérieure de Chimie	Paris, France
115	Mamadou DIAWARA	Étudiant	
116	Amadou Hamadoun DICKO	LaboRem-BioTech, FST-USTTB,	Bamako, Mali
117	Koura DICKO		
118	Maïmouna Sy DICKO	Comité National de la Recherche Agricole (CNRA)	Bamako, Mali
119	Fan Monsia DIOMANDE	Lexicographie et localisation de logiciel en langue toura	Abidjan, Côte d'Ivoire
120	Babakar DIOP	FST-USTTB	Bamako, Mali
121	Ramata DIOP	Ramata	
122	Lassana DOUKOURÉ	Etudiant FMOS	Bamako, Mali
123	Boubacar DOUMBIA	Étudiant FST- USTTB	Bamako, Mali
124	Ibrahim Z. DOUMBIA	IER	Bamako, Mali
125	Mamadou Lamine DOUMBIA	Université du Québec (UQTR)	Trois-Rivières, Québec, Canada
126	Seydou DOUMBIA	Doyen FMPOS	Bamako, Mali
127	Ogobara DOUMBO	Professeur MRTC/FMOS	Bamako, Mali
128	Ibrahim DRAME	Entrepreneur	
129	Mahamoudou FAMANTA	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
130	Rokiatou FANÉ	LaboRem-BioTech, FST-USTTB	Bamako, Mali
131	Siriki FANÉ	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
132	Justin FEUTO	Université Félix Houphouët-Boigny	Abidjan, Côte d'Ivoire
133	Ousmane FOMBA	Enseignant	Bamako, Mali
134	Wilfrid GANGBO	University of California (UCLA)	Los Angeles, Californie, USA
135	Alhassane GAOUKOYÉ	Université des Lettres et Sciences Humaines (ULSHB)	Bamako, Mali
136	Fadhel GASSAB	Directeur Société ETEX	Tunis, Tunisie
137	Boubacar Mody GUINDO	ROCARE Mali	Bamako, Mali
138	Maliki GUINDO	ENI-ABT	Bamako, Mali
139	Aliou HAÏDARA	Elève Lycée Technique	Sikasso, Mali
140	Ibrahim HAÏDARA	Psychologue	Strasbourg, France
141	Moulaye Chirfi HAÏDARA	Chercheur indépendant, Président du Comité d'études ONG SAWAMA-DCI	Bamako, Mali
142	Moussa HAÏDARA	Élève ECOMA	Bamako, Mali
143	Bekhada HAMANE	Université du Québec (UQTR)	Trois-Rivières, Québec, Canada
144	Debey HANK		
145	Tara HOPKINS	Mali Health Organization	
146	Mohomodou HOUSOUBA	Centre d'études africaines, Université de Bâle	Bâle, Suisse
147	Seydou HOUSOUBA	CIRAD	Bamako, Mali
148	Dezheng HUO	University of Chicago	Chicago, Illinois, USA

149	Amadou IBRAHIM	Étudiant FLASH	Bamako, Mali
150	Idi Walio IBRAHIM	Labo de Biologie des Arthropodes, IPR-IFRA	Katibougou, Mali
151	Bakarou KAMATÉ		
152	Halidou KAMATÉ	Consultant	
153	Ibrahim KAMATE	Sup management	Bamako, Mali
154	Laya KANSAYE	Labo de Biologie des Arthropodes, IPR/IFRA	Katibougou, Mali
155	Younous KANSAYE	Technicien bâtiment	
156	Fabou KANTÉ	Socio-anthropologue	Bamako, Mali
157	Moussa KANTÉ	DG CNRST	Bamako, Mali
158	Moussa KAREMBÉ	FST/USTTB	Bamako, Mali
159	Adounigna KASSOGUÉ	LaboRem-BioTech, FST-USTTB	Bamako, Mali
160	Fatoumata Bintou KEÏTA	CS Viamonde	Canada
161	Demba KEÏTA	Etudiant/FLSL	Bamako, Mali
162	Issa KEÏTA	Étudiant FSLs	Bamako, Mali
163	Issiaka KEÏTA	IPR /IFRA	Katibougou, Mali
164	Kalifa KEÏTA	USTTB	
165	Nia Dialla KEÏTA	OLM	
166	Rokia KEÏTA	Élève	
167	Aminata KOÏTA	Promotrice École agro-pastorale	
168	Ousmane KOÏTA	Laboratoire de Biologie Moléculaire Appliquée (LMBA-USTTB)	Bamako, Mali
169	Drissa KONATÉ	FST- USTTB	Bamako, Mali
170	Hawa KONATÉ	Professionnelle de la santé	
171	Moussa S. KONATÉ	Etudiant	
172	Adama KONÉ	Labo de Biologie des Arthropodes, IPR-IFRA	Katibougou, Mali
173	Aminata KONÉ	Étudiante IUG	Bamako, Mali
174	Alou KONÉ		
175	Amadou KONÉ	Université des Sciences, Techniques et Technologies (USTTB)	Bamako, Mali
176	Aphou S. KONÉ	Docteur, radiothérapeute	
177	Binefou KONÉ	Étudiant	
178	Dramane KONÉ	Amadeus	Côte d'Ivoire
179	Drissa KONÉ	Gestionnaire	
180	Mamadou KONÉ	FMPOS et Centre national des œuvres universitaires/CNOU	Bamako, Mali
181	Nabegué KONÉ	Étudiant	
182	Nagantié KONÉ	Agence Malienne des TIC/AGETIC	Bamako, Mali
183	Salif KONÉ	Professeur ENI-ABT	
184	Salimata KONÉ	Journaliste	
185	Seydou KONÉ	USTTB-ISA	Bamako, Mali
186	Seydou K. KONÉ	Journaliste	Bamako, Mali
187	Sidi B. KONÉ		
188	Zeïnabou KONÉ	BANESATH	Bamako, Mali
189	Épiphanie KOUASSI	IRFODEL TOGO	
190	Mahamadou KOUNTA		
191	Messaoud OULD MOHAMED LARBI	Ex-Ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique	Bamako, Mali
192	Seydou LOUA	Université des Lettres et Sciences Humaines (ULSHB)	Bamako, Mali

193	Madani LY	Hôpital du Point G	Bamako, Mali
194	Ousmane LY	Agence Nationale de Télésanté et d'Informatique Médicale, Hôpital du Point G	Bamako, Mali
195	Saidou LY	SAGAX AFRIQUE S.A.	Ouagadougou, Burkina Faso
196	Oumar MAHAMANE	Étudiant	
197	Gil MAHÉ		
198	Abdoulkarim MAÏGA	Directeur Centre Ahmed Baba (IHEIAB)	Bamako, Mali
199	Abourhamane O. MAÏGA		
200	Alassane S. MAÏGA	Professeur d'informatique	
201	Alhadar MAÏGA	Chimiste FST-USTTB	Bamako, Mali
202	Alhousseini MAÏGA	Agence des énergies renouvelables	
203	Amadou Hama MAÏGA	Directeur sortant 2ie	Ouagadougou & Bamako
204	Amadou Seidou H. MAÏGA	Université Gaston Berger	Saint-Louis, Sénégal
205	Assoumane Alhassane MAÏGA	Oklahoma State University	Stillwater Oklahoma, USA
206	Bouba MAÏGA	Étudiant FLASH	Bamako, Mali
207	Harouna MAÏGA	University of Minnesota	Crookston, Minnesota, USA
208	Iliassou MAÏGA	Economiste	Bamako, Mali
209	Kadia MAÏGA	LaboRem-BioTech, FST-USTTB	Bamako, Mali
210	Mohamed A. MAÏGA		Bamako, Mali
211	Ousmane MAÏGA	Étudiant	
212	Abdou MALLE	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
213	Ibrima MALLE	USTTB-FST	Bamako, Mali
214	Adama MARIKO	FST-USTTB	Bamako, Mali
215	Boubacar MARIKO	Université de Ségou	Ségou, Mali
216	Alhousseini AG MOHAMED	Institut National de Formation en Sciences de la Santé (INFSS)	Bamako, Mali
217	Djeneba NANTOUMÉ	LaboRem-BioTech, FST-USTTB	Bamako, Mali
218	Kossi NAPO	Université de Lomé	Lomé, Togo
219	Douga NASSOKO	Ecole Normale Supérieure	Bamako, Mali
220	Sognan NDAO	LaboRem-BioTech, FST-USTTB	Bamako, Mali
221	Djibril N. NDIAYE	ESTM-Groupe Scolaire du Progrès	Bamako, Mali
222	Papa Alioune NDIAYE	Université Cheikh Anta Diop (UCAD)	Dakar, Sénégal
223	Fabrice Feï-Ingtena NGAÏHEDA	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
224	Hanan NIALI	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
225	Kadidiatou NIAMASSOUNOU	Élève ECOMA	Bamako, Mali
226	Adama NIANG	Professeur de physique	
227	Kader NIANG	Laborantin	
228	Ousmane NIANGALY	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
229	Fanta NIARÉ	Élève	
230	Djeneba OUATTARA	LaboRem-BioTech, FST-USTTB	Bamako, Mali
231	Oumar OUATTARA	USTTB-ISA	Bamako, Mali

232	Rosalie Assogba RAHINATOU		
233	Madou SACKO	Maire de la Commune III	Bamako, Mali
234	Ousmane SACKO	FST /USTTB	
235	Bakary SAGARA	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
236	Emmanuel SAGARA	Conseiller technique domaine Education et culture Présidence de la République	Koulouba, Mali
237	Bakary SAKHO	Entreprise SAKHO-BECI	Bamako, Mali
238	Bakary Moussa SAKHO	Étudiant FSJP	Bamako, Mali
239	Cheich Sidi Mohamed SAKHO	Elève à l'école Filany Lassana	Bamako, Mali
240	Mahamadou SAKHO	Elève au lycée Netaaso	Bamako, Mali
241	Moussa SAKHO	Elève au lycée Netaaso	Bamako, Mali
242	Aboubacar S. SAMAKÉ	Étudiant en gestion	Bamako, Mali
243	Fafré SAMAKÉ		Bamako-Mali
244	Fassé SAMAKÉ	Labo de Biologie des Arthropodes, IPR-IFRA	Katibougou, Mali
245	Fassé SAMAKÉ	Enseignant chercheur USTTB-ISA	Bamako, Mali
246	Salimatou SAMAKÉ	LaboRem-BioTech, FST-USTTB	Bamako, Mali
247	B. SAMASSÉKOU		Bamako, Mali
248	Aboubacar SANGARÉ	Informaticien	Bamako, Mali
249	Alou SANGARÉ	Étudiant FSEG	Bamako, Mali
250	Aly SANGARÉ	Labo de Biologie des Arthropodes, IPR-IFRA	Katibougou, Mali
251	Amadou S. SANGARÉ	Étudiant, FST/USTTB	Bamako, Mali
252	Cheick O. SANGARÉ		
253	Koumba SANGARÉ		
254	Daouda SANGARÉ	Étudiant	
255	Habibatou SANGARÉ	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
256	Kotou SANGARÉ	Laboratoire de Biologie Moléculaire Appliquée (LMBA-USTTB)	Bamako, Mali
257	Mamadou SANGARÉ	Ingénieur agronome, IPR/IFRA	Katibougou, Mali
258	Mohamed SANGARÉ	Services de télécoms CHEFANCOM	Bamako, Mali
259	Moussa SANGARÉ	FDPU	Bamako
260	Seydou SANGARÉ	Etudiant	
261	Abdoul F. SANOGO	Élève (développement)	Bamako, Mali
262	Diakaridia SANOGO	Labo de Biologie des Arthropodes, IPR-IFRA	Katibougou, Mali
263	Mamadou SANOGO	Pharmacien	Ségou, Mali
264	Mamadou Lamine SANOGO	Institut National des Sciences des Sociétés (INSS-CNRST)	Ouagadougou, Burkina Faso
265	Nadou Paul SANOGO	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
266	Youssef SANOGO		Bamako, Mali
267	Ibrahima SARR	Mozilla Representatives	Le Havre, France
268	Fad SEYDOU	Société Malienne des Sciences Appliquées	Bamako, Mali
269	Mahamadou SEYDOU	Université Paris 7-Denis Diderot	Paris, France
270	Mahamadou SEYDOU	Juriste	

271	Imran Haider SHAMSI	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
272	Abdoulaye SIDIBÉ	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
273	Fousseini SIDIBÉ	Entrepreneur	
274	Lassine SIDIBÉ		
275	Nouhoun SIDIBÉ	ROCARE Mali	Bamako, Mali
276	Ambadjo SIGUIPLY	Laboratoire de Biotechnologie végétale IPR-IFRA	Katibougou, Mali
277	Facourou SIRABA	Enseignant du supérieur	
278	Samba SISSOKO	Enseignant chercheur FST-USTTB	Bamako, Mali
279	Yaya SISSOKO	Ecole Normale d'Enseignement Technique et Professionnel	Bamako, Mali
280	Nafomon SOGOBA	MRTC-FMPOS	Bamako, Mali
281	Mariam SOGODOGO	Élève	
282	Sangaré Constance SOUKO		
283	Fatoumata SOUMARÉ	Comptable	
284	Eliza SQUIBB	GAIA Vaccine Foundation	Providence RI & Bamako
285	Amadou SYLLA	Comptable	
286	Moussa TAMBOURA	Faculté des Sciences et Techniques-USTTB	Bamako, Mali
287	Moussa TANGARA	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
288	Abel Didier TELLA	Association des Sociétés d'Énergie d'Afrique (ASEA)	Abidjan, Côte d'Ivoire
289	Aïssata Sow THIAM	Initiative MaliWatch	Bethesda, Maryland, USA
290	Fatoumata THIAM	Elève Lycée Kodonso	Bamako, Mali
291	Korotoumou THIAM	BANESATH	Bamako, Mali
292	Adama TOGOLA	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
293	Kawele TOGOLA	ULSHB	Bamako, Mali
294	Fatoumata Korika TOUNKARA	Université Laval	Québec, Canada
295	Founé TOUNKARA	Élève Groupe II	Bamako, Mali
296	Karamoko TOUNKARA	GAIA Vaccination Foundation	Bamako, Mali
297	Salimata TOUNKARA	IPR/IFRA	Katibougou, Mali
298	Adama TOURÉ	FST-USTTB	
299	Ahmadou TOURÉ	Ecole supérieure de technologie et de management (ESTM) - Groupe Scolaire du Progrès	Bamako, Mali
300	Aliou M. TOURÉ	Journaliste	Bamako
301	Bocar Ahamadou TOURÉ		
302	Boubacar TOURÉ		
303	Hamadoun Hassèye TOURÉ		
304	Idrissa TOURÉ	Université Félix Houphouët-Boigny	Abidjan, Côte d'Ivoire
305	Nana TOURÉ	Etudiante	

306	Adama TRAORÉ	Directeur de recherche, Ministère de l'Agriculture	Bamako, Mali
307	Amadou D. TRAORÉ	Élève LGKF	Bamako, Mali
308	Amenophis TRAORÉ	FST- USTTB	Bamako, Mali
309	Anna Traoré	Enseignante	
310	Cheickna TRAORÉ		
311	Diakaridia TRAORÉ	Labo de Biologie des Arthropodes, IPR-IFRA	Katibougou, Mali
312	Ibrahim Albarka TRAORÉ	Émérite, Chaire UNESCO PCPDH	Bamako, Mali
313	Idrissa Soïba TRAORÉ	ULSHB	Bamako, Mali
314	Kadiatou TRAORÉ		
315	Mamady TRAORÉ	Étudiant ENSUP	
316	Mariam TRAORÉ	Enseignante FST- USTTB	Bamako, Mali
317	Modibo S. TRAORÉ	Elève LGKF	
318	Mohamed TRAORÉ	Elève LGKF	
319	Moumouni TRAORÉ	Professeur EF DNA	
320	Nah TRAORÉ		
321	Oumar TRAORÉ		
322	Souleymane TRAORÉ	Labo de Biologie des Arthropodes, IPR-IFRA	Katibougou, Mali
323	Sidi Yaya WAGUÉ	Journaliste, L'Essor	Bamako
324	Alpha Seydou YARO	FST/USTTB	Bamako, Mali
325	Arsiké YATTARA	Professeur, ENI-ABT	Bamako, Mali
326	Mamadou YOSSI	Département de Géologie, ENI-ABT	Bamako, Mali