

MSAS 2020

11^e SYMPOSIUM MALIEN SUR LES SCIENCES APPLIQUÉES



Thème :

**Sciences et technologies au service de la paix et
du développement**

**Science and Technologies for Peace and
Development**

Actes de la conférence

Volume 2

21 - 23 décembre 2020

<http://www.msas.ml>



Civisme & Bénévolat
mAliWatch

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 Tianégué DIARRA

IPR/IFRA, Katibougou

Seydou HOUSSOUBA

Bamako

Jean Noel KEITA

Université de Ségou

Amadou KONÉ

USTTB, Bamako

Assoumane MAIGA

Bamako

Bakary SAKHO

Sakho BECI, Bamako

Aboubacar SAMAKÉ

Bamako

Aboubacar SANGARÉ

Bamako

Mohamed SANGARÉ

Bamako

Youssef SANOGO

Bamako

Fad SEYDOU

MSAS, Bamako

Abdoulaye SIDIBÉ

IPR/IFRA, Katibougou

Mody SOW

Bamako

Mohamed TRAORE

ENI-ABT, Bamako

COMITE INTERNATIONAL D'ORGANISATION

Diola BAGAYOKO

Southern University, Baton Rouge LA, USA

Jim BARRY

Caltech, Los Angeles CA, USA

Doulaye DEMBÉLÉ

CNRS-IGBMC, Strasbourg, France

Djouroukoro DIALLO

Université de Bernes, Suisse

Abdoulaye DOUCOURÉ

Hollingsworth & Vose – Floyd, Virginia, USA

Mamadou Lamine DOUMBIA

Université du Québec à Trois-Rivières, Canada

Aliou HAIDARA

HCR, Rwanda

Mohomodou HOUSSOUBA

Université de Bâle, Suisse

Fatoumata Bintou KEITA

Toronto, Canada

Harouna Abdoulaye MAIGA

Université de Minnesota, Crookston MN, USA

Sengthavy PHOMMIXAY

Université du Québec à Trois-Rivières, Canada

Mahamadou SEYDOU

Université Paris Diderot, France

Aissata SOW THIAM

Washington DC, USA



COMITES D'ORGANISATION DES MINI-SYMPOSIA ET ATELIERS

Mini-symposium : Agriculture

Sabaké Tianégué DIARRA

IPR/IFRA de Katibougou, Mali

Harouna MAIGA

University of Minnesota, Crookston MN, USA

Abdoulaye SIDIBE

IPR/IFRA de Katibougou, Mali

Mini Symposium : Eau, environnement et technologies de filtration

Sidy BA

ENI-ABT, Mali

Abdoulaye DOUCOURE

Hollingsworth & Vose, Floyd, Virginia, USA

Adama TOLOFOUDYÉ

USTTB, Mali

Arona COULIBALY

ENI-ABT, Mali

Atelier : Sciences de l'éducation

Bahaba COULIBALY

ULSHB, Mali

Moriké DEMBÉLÉ

ULSHB, Mali

Mamadou DIA

ULSHB, Mali

Alhassane GAOUKOYE

ULSHB, Mali

Idrissa Soïba TRAORE

ULSHB, Mali

Workshop : Sciences sociales et langues

Baba COULIBALY

Institut des Sciences Humaines, Bamako, Mali

Mohomodou HOUSSOUBA

Université de Bâle, Bâle, Suisse

Mamadou Lamine SANOGO

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

Boubacar Sidiki TRAORE

Institut des Sciences Humaines, Bamako, Mali

NGna TRAORE

Institut des Sciences Humaines, Bamako, Mali

Atelier : Femmes, sciences, paix et développement

Rokia SANOGO

INRSP, Mali

Rokiatou FANÉ

USTTB, Mali

Atelier : Évaluation de politiques publiques

Bertin DAKOUO

APEM, Mali

Chiaka DEMBÉLÉ

Programme TOKTEN, Mali

Mini-symposium : Mathématiques et applications

Abdoulaye SAMAKE

USTTB, Mali

Amadou MAHAMANE

USTTB, Mali

Mahamadou SEYDOU

Université Paris Diderot, France

Atelier : Energies renouvelables

Mamadou Lamine DOUMBIA

UQTR, Canada

Bakary SAKHO

Sakho BECI, Mali

Ibrahim TOGOLA

Mali-Folkecenter Nyetaa, Mali

Atelier : Jeunesse et sport

Youssef KAREMBE

INJS, Mali

Atelier : Paix et développement

Mohamed AMARA

ULSHB, Mali



COMITE TECHNIQUE INTERNATIONAL

Sidy BA, Mali

Diola BAGAYOKO, USA

Jim BARRY, USA

Doulaye DEMBELE, France

Youssouf DIABATÉ, USA

Sabaké Tianégué DIARRA, Mali

Hamadou DICKO, France

Abdoulaye DJIDO, Mali

Abdoulaye DOUCOURÉ, USA

Mamadou Lamine DOUMBIA, Canada

Fad SEYDOU, Mali

Aliou Ousmane HAIDARA, Rwanda

Nouhou HAIDARA, France

Harouna A. MAIGA, USA

Brad K HOUNKPATI, USA

Mohomodou HOUSSOUBA, Suisse

Fatoumata Bintou KEITA, Canada

Amadou KONÉ, Mali

Assoumane MAIGA, Mali

Frédéric OUEDRAOGO, USA

Bakary SAKHO, Mali

Mahamadou SEYDOU, France

Abdoulaye SIDIBÉ, Mali

Boubacar SIDIBÉ, Canada

Moussa TAMBOURA, Mali

Fatoumata Korika TOUNKARA, Canada

Bocar Ahamadou TOURE, Mali



PARTENAIRES ET SPONSORS

Présidence de la République	Centre de Formation pour le Développement (CFD)
Primature	Programme TOKTEN Mali
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique	Agence Malienne de la Régulation des Télécommunications et de Postes (AMRTP)
Ministère des Maliens de l'Extérieur et de l'Intégration Africaine	Agence Malienne de Radioprotection (AMARAP)
Ministère de l'Energie et de l'Eau	Société Malienne de la Gestion de l'Eau Potable (SOMAGEP)
Initiative MaliWatch	Agence Universitaire de la Francophonie (AUF)
Ecole Nationale d'Ingénieurs Abderhamane Baba Touré (ENI-ABT)	Journal Scientifique et Technologique du Mali (JSTM)
Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA)	Entreprise SAKHO-BECI
Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako (USTTB)	SOTELMA-Malitel
Université des Lettres et Sciences Humaines de Bamako (ULSHB)	Industrie des Eaux et Jus d'Afrique
Université de Ségou	Achcar Mali Industrie
Faculté des Sciences et Techniques de l'USTTB	Nouvelle Brasserie Bamakoise
Direction Nationale des Examens et Concours (DNEC)	Association KHEPERA
	California Institute of Technology (Caltech)
	Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR)
	EasyChair EasySignUp



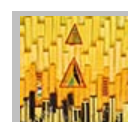
TABLE DES MATIÈRES

COMITE LOCAL D'ORGANISATION	I
COMITE INTERNATIONAL D'ORGANISATION	I
COMITES D'ORGANISATION DES MINI-SYMPOSIA ET ATELIERS	II
COMITE TECHNIQUE INTERNATIONAL	III
PARTENAIRES ET SPONSORS	IV
TABLE DES MATIÈRES.....	371
OUTILS INFORMATIQUES POUR LA GESTION AGRO-PASTORALE ET L'ENVIRONNEMENT /	
AGROPASTORAL AND ENVIRONMENT MANAGEMENT USING IT.....	374
Phagocytage des zones périurbaines bamakoises : logiques d'acteurs et stratégies de survie	375
Vers une inclusion du système financier: une étude appliquée sur les « oubliés » de la microfinance au Mali.....	383
Le contrôleur de gestion à l'aune de Big Data	395
Optimisation de la collecte des déchets de Bamako par l'algorithme de recherche Tabou	398
Projet de conception d'un système d'information d'alerte sécuritaire.....	404
Mise au point d'un dispositif de surveillance des milieux fermés et ouverts au Mali	410
Apport des SIG dans la gestion des boues de vidanges dans la commune IV de Bamako.....	423
Évaluation des modifications de l'occupation des sols à l'aide de NDVI, NDBI, MNDWI et IBI avec Landsat dans la Commune de Sanankoroba au Mali	432
Les potentiels des Big Data dans le développement socio-économique et sécuritaire du Mali	439
SCIENCES SOCIALES, POLITIQUES DE L'EDUCATION ET GENRE / HUMANITIES AND GENDER ..	444
Vers les origines historiques du dioula véhiculaire	445
Détection du changement dans la Commune Rurale de Sanankoroba au Mali	456
Impacts de l'orpaillage traditionnel sur la vie socioéconomique des ménages dans le cercle de Kangaba au Mali : cas des villages de : Dabale et Kokoyo	464
Déterminants de la consommation de poulets à Bamako	469
Perceptions par les populations de l'évolution de ressources naturelles dans un contexte de changement climatique : Cas de quatre terroirs villageois dans le Haut-Plateau-Dogon, région Nord-Ouest au Mali	478
Effets de l'orpaillage sur l'évolution de l'occupation des terres au Mali dans la commune rurale de Minidian/village de Dabalé	488
Accès au crédit agricole des zones cotonnières du Mali : fonctions et garanties des organisations paysannes.....	493
Relations entre autochtones et allochtones dans le Bougouni-Sud	498
Tireyze : le manuscrit et talisman en Afrique de l'Ouest	507
SOL, ECOLOGIE, ENVIRONNEMENT ET CLIMAT / ECOLOGY, ENVIRONMENT AND CLIMATE....	516

Diversité de l'avifaune des galeries forestières de trois rivières du haut bassin du fleuve Sénégal au Mali.....	517
Etudes des expériences du Projet de Gestion des Ressources Naturelles (PGRN) de 1993-1998 en matière de conservation des eaux et des sols dans le cercle de Kayes : cas de Bongourou, Dinguiralo et Tafassirga.....	527
Comment booster la production du coton et améliorer le rendement des cultures subsequentes dans un contexte de changement climatique en Afrique de l'Ouest ?.....	538
Séquestration de carbone par les arbres des systèmes agroforestiers en zone soudanienne de la région de Dioïla au Mali	547
Effet de la chaux agricole sur l'acidité des sols de différentes zones de productions agricoles du Mali.....	554
Les pertes de matières sous forme dissoutes dans le bassin versant de Korola en zone soudanienne du Mali.....	560
Variabilité spatio-temporelle de l'évapotranspiration potentielle dans le bassin du Bani de 2002 à 2017.....	565
Principal Component Analysis of Hydrochemical Data From Groundwater Resources in Bamako	
570 Facteurs influençant l'adoption des techniques de conservation des eaux et des sols : Cas des cordons pierreux et du zaï dans les exploitations agricoles du cercle de Bankass au Mali	576
Etude et conception d'une station météo locale avec des capteurs intelligents	583
Stratégies locales d'adaptation aux effets des Changements Climatiques (CC) : cas des producteurs de la Commune Rurale de Madiama, région de Mopti au Mali	587
Caractérisation des déchets plastiques des décharges de la ville de Bamako : cas du dépôt de Badalabougou.....	595
Typologie des sols en zone de production d'anacarde au sud du Mali : cas du cercle de Yanfolila	
600 Influence de l'application foliaire de deux biopesticides sur la dynamique des ravageurs du vert (<i>Phaseolus vulgaris</i>) dans les conditions agroécologiques de Katibougou.....	608
Résilience au changement climatique par la valorisation des ressources locales et l'intégration agriculture/élevage: cas du phosphate naturel de tilemsi, mucuna et maïs	615
Estimation de la réserve utile (RU) en eau à partir des caractéristiques granulométriques des sols : Cas de Neguela	621
Minéralisation de trois gisements aurifères birimiens (Syama, Tabakoroni et Tellem), sur la ceinture de Bagoé au Mali	628
Impact des changements climatiques sur l'évolution du système d'élevage transhumant au Mali: Cas des zones de Nioro et Diéma dans la région de Kayes	635
Disponibilité fourragère dans le bassin versant de la mare d'Agoufou dans le Gourma Malien ...	644
Dynamique de la mare d'Agoufou au sahel dans le Gourma malien.....	653



<u>Évaluation de l'effet de l'apport de fumier de bovins et de petits ruminants et du phosphate naturel de Tilemsi sur la productivité des sols et des cultures dans le Sahel : cas de la région Mopti.....</u>	<u>662</u>
<u>Etude de la qualité de l'air à Bamako (Mali)</u>	<u>672</u>
<u>Effets de la fertilité du sol sur la durée de viedes plans d'igname à maturité</u>	<u>680</u>
<u>SCIENCES FONDAMENTALES : MATHEMATIQUES, PHYSIQUE ET CHIMIE / MATHEMATICS, PHYSICAL AND CHEMISTRY.....</u>	<u>685</u>
<u>Études des catalyseurs à base de cobalt par microscopie électronique en transmission <i>in-situ</i> environnementale</u>	<u>686</u>
<u>PARTENAIRES ET SPONSORS</u>	<u>690</u>



**OUTILS INFORMATIQUES POUR LA GESTION
AGRO-PASTORALE ET L'ENVIRONNEMENT /
AGROPASTORAL AND ENVIRONMENT
MANAGEMENT USING IT**



Phagocytage des zones périurbaines bamakoises : logiques d'acteurs et stratégies de survie

Hamadou Amadou Cissé Barry^{1*} et Mohamadine Asseydou²

¹Faculté des Sciences Humaines et des Sciences de l'Éducation de l'Université des Lettres et des Sciences Humaines de Bamako

²Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée

*Email : barryhamadouac@yahoo.fr

RESUME : Le village de Kabala, dans la commune rurale de Kalabancoro, au sud-ouest de la ville de Bamako, connaît le phénomène de phagocytage ces dernières années. Ce phénomène est la résultante de l'accélération de l'urbanisation. Jadis, c'était un village qui pratiquait les activités liées au secteur primaire. Cette occupation de l'espace, a entraîné la disparition des ressources naturelles au profit du bâti. L'objectif général vise à comprendre la perception des autochtones de Kabala sur le phagocytage de leur milieu et leurs stratégies de survie. Cette étude a reposé sur la méthode qualitative en privilégiant l'entretien semi directif et l'observation directe.

Les principaux résultats relèvent la perte des activités liées au secteur primaire contraignant la population locale à se reconvertir aux activités secondaires et tertiaires et à l'informel. En outre, sur le plan social, on assiste à des mutations sociales conduisant à l'effritement des valeurs sociales comme la solidarité mécanique, la dislocation de la famille élargie et une redéfinition du contrat social. Également, sur le plan politique, l'autorité traditionnelle a quasiment perdu le privilège de ses prérogatives avec l'émergence des acteurs notamment l'administration locale. Face à l'étalement urbain anarchique du finage villageois, les autochtones expriment leur inquiétude face à la transformation de leur terroir. Dans ce contexte, le présent et l'avenir de cette communauté sont compromis. Néanmoins, deux registres discursifs sont mobilisés pour expliquer ce changement. L'ancienne génération trouve que leurs conditions de vie sont dégradées, par contre, la nouvelle génération s'en est réjouie.

Mots clés : Phagocytage, autochtones, terre, stratégies, perception

INTRODUCTION

Les zones périurbaines africaines sont sujettes à plusieurs problèmes notamment le phagocytage dû à l'urbanisation anarchique. Ce phénomène fait que les villes englobent les villages périphériques qui, jadis, étaient des zones destinées à l'agriculture. Ainsi, les conséquences aboutissent à des mutations d'ordre socio-économique telles que l'absorption de l'espace agricole au profit du bâti, l'effritement de valeurs sociétales. Dans la même dynamique, la population était contrainte d'abandonner l'agriculture avec la spoliation de leurs terres agricoles au profit des nouveaux métiers auxquels elle peine à s'adapter.

Ainsi, le Mali, depuis les années 80, les terres commencent à susciter un engouement chez les citoyens de la capitale. Les effets de l'ajustement structurel d'une part contraignant les fonctionnaires moyens de s'installer dans la périphérie de Bamako et d'autre part les citoyens nantis qui sollicitaient des champs pour pratiquer de l'agriculture intensive. Mais derrière cette idée s'est cachait d'autres logiques d'appropriation des terres pour des intérêts mercantilistes.

Cependant, les années 2000 ont été un coup d'accélérateur pour l'occupation des terres du village de Kabala. Cela s'explique par l'avènement de la CAN 2002 dont Kabala a été choisi pour abriter les infrastructures sportives. Dans le même cadre, les autorités politiques ont décidé d'élaborer un plan de

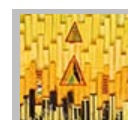
lotissement de la zone. Le deuxième facteur, la réalisation de la cité universitaire dans le village en 2010. Ces aspects ont contribué au phagocytage du village de Kabala sans compter l'étalement urbain. Du coup, ses terres sont convoitées par toutes les catégories sociales pour des fins d'habitation.

Cette étude s'intéresse au cas du village de Kabala dans la commune de Kalabancoro, située à 15 km de Bamako au Sud-Ouest. Ainsi, les Traoré de l'ethnie Bambara sont les fondateurs du village dont trois groupes lignagers (*Mandiala, Tagala, Samantiguila*) et la famille de forgerons. A leur suite, les Peulhs (Bah, Diallo, Sangaré et Sall) sont venus s'y installer. De nos jours, Kabala est devenu un melting-pot où plusieurs ethnies se côtoient.

L'objectif visé dans cet article est de comprendre la perception des autochtones de Kabala sur le phagocytage de leur espace et leurs stratégies de survie.

METHODOLOGIE

Cette étude a reposé sur la méthode qualitative en privilégiant l'entretien semi directif et l'observation directe. Il est adressé aux autorités coutumières, aux groupements associatifs, aux services administratifs et techniques. Un guide d'entretien a été utilisé pour recueillir les données et l'enquête de terrain a duré un mois (décembre 2019).



Ainsi, les données ont été enregistrées via un dictaphone. Les enquêtés sont essentiellement des locuteurs de la langue *Bamanan*. Leurs discours ont été transcrits fidèlement et traduits en langue française. L'analyse de contenu de discours a été appliquée pour le traitement des données.

1. Le mode de vie et les activités pratiquées à Kabala dans le passé

Jadis, ce village vivait essentiellement de l'activité agricole. Cette activité assurait les besoins vitaux de ses habitants. Elle était variée et composée de l'agriculture, du maraîchage, de la cueillette, de la chasse et de la pêche. Toutefois, l'agriculture était leur occupation principale. Le village était très autarcique et faisant peu recours à l'extérieur. Les échanges étaient basés sur le troc. Il était à l'abri de tout problème foncier, les terres cultivables y étaient abondantes, comme le décrit le discours de cet interlocuteur, **J.T** : *« Avant, l'extension du village sur Kabala, tu sais quand le village était exigu, la démographie faible, notre source de revenus était surtout basée sur l'agriculture. Avant l'absorption de Kabala par Bamako, il se trouvait que la densité de la population était faible, il y avait de terres à cultiver partout, en dehors de cela, les gens pratiquaient la cueillette de fruits. Pratiquement, ici à Kabala, chaque grande famille fondatrice possédait un verger... Les femmes, leur activité principale reposait sur le maraîchage, mais les hommes, c'était les activités champêtres »*.

Leurs activités économiques leur permettaient de subvenir à leurs besoins vitaux. Selon les enquêtés, le problème de sécurité alimentaire ne se posait pas, les revenus agricoles étaient considérés d'ailleurs excédentaires. La gestion du patrimoine familial (terres, revenus, femmes) était dévolue aux aînés. Dans le même ordre d'idées, les interviewés expliquent le mode de vie du village de Kabala dans le temps. Selon **C.V** : *« Notre mode de vie avant l'extension de Bamako sur Kabala, on cultivait. Après les activités agricoles, on organisait des fêtes pour manifester notre joie à Dieu. Ensuite on s'adonnait aux cultures maraîchères. Ça nous permettait d'assurer les besoins de nos familles jusqu'à la saison prochaine. On manifestait notre joie, ça fait partie de nos coutumes... Il y a les sociétés d'initiation comme le 'Komo'. On pratiquait le Komo après les récoltes »*.

Les rites d'initiation étaient des pratiques courantes. Ces rites faisaient partie intégrante de la socialisation de l'Homme dans ce milieu rural. Seuls les hommes adultes initiés ont accès au 'Komo.' Le contrôle social s'exerçait sur l'Homme avec rigueur par l'ensemble de la société. Toute chose qui amenait l'individu à éviter autant que possible certaines déviations telles que le vol, l'adultère... Les gens vivaient de façon communautaire où la solidarité mécanique était forte. L'individu n'existait pas au

détriment du communautaire, du collectif. Le passage de cet entretien met en exergue les réalités sociales de cette société dans le passé. Comme le témoigne **Y.T** : *« Dans notre société, l'individu n'existait pas, plutôt la communauté, on disait toujours nous pour impliquer tout le monde. On ne se glorifiait pas de soi, mais plutôt le groupe. Les biens appartenaient au groupe. Sur le plan économique, la gestion était communautaire. Donc s'il y avait un besoin vital comme la nourriture ou pour la vente, pour soutenir un pauvre, c'était le chef de famille qui autorisait l'usage. L'éducation d'avant était rigide. Aux yeux de gens mais indispensable pour l'humanité »*.

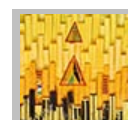
Cet entretien peint la situation qui prévalait dans le passé. Dans cette société agricole, comme toutes autres, l'organisation sociale était hyper hiérarchisée. Le pouvoir était exercé selon le principe de primo naissance mais aussi le prestige social. Les cadets sociaux étant des exécutants sont relégués au second plan.

A la lumière de ces différents entretiens, les habitants tiraient principalement leurs moyens de subsistance de l'agriculture. La vie était caractérisée par l'autarcie. Les problèmes de terres agricoles ne posaient guère. Pendant cette période, la sécurité alimentaire était assurée à l'exception de quelques rares famines. Ensuite, la société prenait entièrement en charge l'éducation de l'Homme à travers ses instances de socialisation. Sur le plan politique, les individus vouaient un grand respect à l'autorité des aînés qui était contestée rarement. Le contrôle social exercé par la société dissuadait l'Homme à transgresser les normes sociales établies. Les interlocuteurs estiment que la société était mieux régulée qu'aujourd'hui.

2. Les activités pratiquées par la population actuellement

Suite au phagocytage du village de Kabala par Bamako, le finage villageois a été consommé ; comme l'illustre cet extrait d'entretien de **J.T** : *« Actuellement, avec l'agrandissement de la ville, il n'existe plus d'espaces agricoles pour cultiver. C'est une évidence, personne ne peut montrer des champs à cultiver ici à Kabala, tout est construit. Cet étalement urbain a engendré plusieurs mutations d'ordre économique et social »*.

Sur le plan économique, la population pratiquait les activités du secteur primaire assurant leurs moyens d'existence. Mais depuis une vingtaine d'années, le village est confronté à de pressions foncières. Les terres de cette zone sont convoitées par les citadins pour des lots à usage d'habitation. Cette nouvelle donne compromet l'avenir des agriculteurs qui se nourrissaient uniquement de la terre.



Sur le plan social, les agriculteurs sont contraints de se reconverter. Désormais, on constate un abandon progressif de l'Agriculture au profit des autres activités comme la menuiserie, la maçonnerie, la mécanique, etc. Cependant, les paysans d'âge avancé peinent à se reconverter, ils pratiquent pour la plupart de petits métiers comme "coxeur" ou courtier foncier, commerce informel et deviennent des chômeurs chroniques. Quant à la nouvelle génération, avec l'occupation de surfaces agricoles exerce des métiers professionnels comme la menuiserie, la maçonnerie, le transport, etc. mais appris sur le tas. Ces entretiens décrivent les réalités actuelles sur le terrain. Y.T réagit en ces termes : *« Très généralement, ce sont toujours les mêmes travaux physiques, parce que ce sont des métiers que les gens n'ont pas appris à l'école. Tu rencontres un mécanicien, il a appris sur le tas. Il ne dispose pas de techniques rationnelles mais il a la force physique de faire le travail. Il a appris de façon empirique. Il peut satisfaire les usagers. C'est comme ça d'autres sont devenus de ferrailleurs, des électriciens, des plombiers, des chauffeurs. Ils ont appris ces métiers là sur le tas. C'est rare dans notre village voir celui qui a étudié ces métiers ».*

Sur le plan culturel, les cérémonies d'initiation et les sociétés secrètes ont disparu avec l'étalement urbain, ses mentalités et ses religions. Toute chose qui n'est pas sans conséquences sur la société comme en témoignent les notables interrogés. Ces sociétés secrètes étaient de véritables écoles de formation, de socialisation pour préparer l'homme initié à affronter les épreuves de la vie sociale et bannissaient le vol, l'adultère, etc. Elles enseignaient la bravoure, le travail, l'honnêteté, la dignité. Selon certains, l'abandon de certaines pratiques expliquerait certains maux qui sévissent actuellement dans la société. L'extrait de cet entretien du C.V insiste sur l'importance de sociétés secrètes : *« on a renoncé à cette pratique depuis longtemps. En son temps, tout le monde n'assistait pas au Komo, seulement les hommes initiés. Uniquement les hommes (avec un ton élevé). L'arrivée massive des populations étrangères et l'avènement de l'Islam, on a abandonné ces pratiques ».*

Le mariage était une valeur cardiale de la société traditionnelle. Il liait deux familles, deux communautés voire deux villages en tenant compte de la catégorie sociale. C'était les aînés qui s'en chargeaient de toutes les démarches. Mais avec les mutations actuelles, les jeunes se marient par consentement sans tenir compte de l'origine de l'intéressé. Toutes choses que les conservateurs considèrent influencer négativement sur la cohésion sociale, la solidarité, le prestige social.

A la lumière des discours recueillis sur le terrain, les activités pratiquées ont subitement évolué avec le

phagocytage. De l'agriculture pluviale, au secteur informel, la grande majorité de la population de Kabala était contrainte de se reconverter en vue de subvenir à leurs besoins essentiels. N'ayant plus d'espace pour cultiver, elle s'adonne à la pratique des métiers comme la maçonnerie, la menuiserie, le commerce, etc.

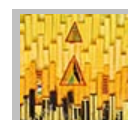
3. Le processus du phagocytage du village de Kabala

Le processus du phagocytage du village par la capitale était lent jusqu'à partir du début des années 2000. Avant, la zone était convoitée par les citadins nantis sous le régime de la deuxième République pour constituer des vergers. Les demandeurs faisaient miroiter à la population de la création des usines et autres projets de développement pour booster la zone. C'était dans cette optique que les autochtones leur attribuaient gratuitement les immenses surfaces. En réalité, c'était pour des intérêts mercantilistes.

Également, les conséquences de l'ajustement structurel des années 1980 ont conduit aussi les agents de l'Etat vu la cherté du loyer à Bamako à se rabattre sur les zones périurbaines où les prix de parcelles sont dérisoires.

Dans le sillage de l'avènement de la démocratie, le lotissement de la zone a commencé petit à petit compte tenu de l'accroissement démographique de la ville de Bamako dû surtout à l'urbanisation anarchique. L'entretien de B.C essaie de relater le processus : *« C'est le surpeuplement de la ville de Bamako qui est à l'origine du phagocytage. Les citadins venaient demander de champs, au départ c'était gratuit et au fil du temps la vente a commencé, on ne pouvait vraiment pas imaginer que ces endroits allaient être habités de cette manière. C'est à partir de 1992, sous la 3^{ème} république que ces pratiques ont commencé, auparavant, les gens refusaient de venir à Kabala, vu la distance qui l'a séparé de Bamako ».* Dans le passé, c'était les villageois de Kabala qui se rendaient à Bamako pour écouler leurs produits agricoles. De nos jours, c'est plutôt le cas contraire qui s'observe.

D'autres événements ont donné un coup d'accélérateur à l'occupation des terres de Kabala. Il s'agit de l'avènement de la CAN 2002. Dans ce cadre, le village de Kabala a été choisi pour abriter les logements des joueurs et la construction du complexe sportif. Cela a évidemment valorisé la zone et suscité un engouement chez beaucoup de personnes pour l'acquisition des lots à usage d'habitation. Ce qui contrastait avec le mode de vie et la vocation de la zone. Puisque, les habitants tiraient leurs moyens de subsistance de l'Agriculture. Ensuite, le site a accueilli aussi la cité universitaire en 2010. Cela a incité également les citoyens à acheter des parcelles à usage d'habitation.



Dans la même dynamique, les autochtones ont pris goût au gain facile, s'adonnent à la vente de leurs terres lignagères. Comme l'explique l'extrait du discours de ce conseiller municipal : *« C'est à partir de 2002, précisément, avec la réalisation du Lycée sportif de Kabala et la cité qui abrité les logements de sportifs que le village a été englouti. C'est à partir de ce moment que la population a commencé à avoir le goût de l'argent de la terre. A cela s'ajoute la réalisation de la cité universitaire. Ces deux aspects ont contribué à changer le statut de Kabala de village en ville ».*

Le phagocytage n'est pas sans impacts sur le village. Ainsi, la population autochtone a été engloutie par les nouveaux résidents ; du coup, elle est désormais minoritaire sur son propre territoire. Sur un autre chapitre, il faut noter aussi l'érection de leurs terres agricoles ancestrales en lieu d'habitation. Les activités agricoles vont disparaître au profit de métiers de la débrouillardise. L'occupation anarchique de leurs espaces a créé d'autres phénomènes nouveaux dans la société comme le chômage et l'apprentissage de petits métiers, la spéculation foncière. Le métier de courtier foncier devient leur sport favori.

Dans ces conditions, les rapports Homme et terre ont évolué. La terre jadis sacrée, devient un bien d'épargne et d'investissement. Elle est le théâtre de convoitise, de chantage et de spéculation. Comme l'illustre cet entretien de M. S : *« Le prix de la parcelle variait de 150.000 Francs CFA à 400.000 Francs CFA, c'est à partir de 2002 que le prix a triplé de 1.500.000 Francs CFA maintenant nous sommes à 6.000.000.000 Francs CFA voire 10.000.000.000 Francs CFA par endroit. Avec la cité université, c'est de 15.000.000.000 Francs CFA à 20.000.000.000 Francs CFA. Malheureusement, les autochtones avaient déjà tout vendu et rien ne marche actuellement ».*

A la lumière de ces données collectées, il est à retenir que le processus du phagocytage de Kabala par Bamako a été émaillé par plusieurs événements. Il remonte depuis la deuxième République sous le régime dictatorial avec la demande de champs auprès des autochtones. Ensuite le plan de lotissement vers le milieu des 1990 de la zone avec l'essor démocratique a contribué à l'occupation de lieux. Mais les deux faits majeurs sont l'avènement de la CAN 2002 et l'université à Kabala ont donné le coup d'accélérateur au phénomène de phagocytage.

Certes, la transformation du village en ville avec ses infrastructures a changé le mode de vie des citoyens. Cependant, beaucoup sont nostalgiques du passé considéré comme une période faste et d'opulence. La perte de leurs terres agricoles est loin d'être compensée par les retombées de la nouvelle ville.

4. Relations entre l'administration et les autorités traditionnelles

Plusieurs relations sont entretenues entre les autorités traditionnelles et les services déconcentrés et décentralisés. Il s'agit de la mairie, la sous-préfecture, l'urbanisme, les domaines, etc. Le point de jonction de ces relations tourne autour des affaires foncières. Donc, la mairie et les chefferies traditionnelles entretiennent des rapports très étroits de collaboration. Ainsi, la mairie demeure le service de proximité très sollicitée par la population. Comme l'illustre les propos de ce notable Y.T de Kabala interrogé : *« Il y a des rapports de collaboration avec la mairie, par exemple, il y a des espaces ou bien publics qu'on attribue à certains autochtones démunis, on est obligé de passer par la mairie. Ce sont de cas sociaux, l'ensemble du village qui décide mais il faut saisir la mairie pour qu'il examine la faisabilité de l'action ».* La mairie est perçue comme un acteur incontournable dans la gestion des affaires courantes du village. Depuis l'avènement de la décentralisation, l'Etat a transféré certaines compétences à elle. Dans le même sens, ce conseiller municipal, M.S, chargé d'un centre d'Etat civil met en relief les rôles du pouvoir traditionnel, qui à son avis est un acteur majeur de l'administration de la cité : *« Généralement le premier conseiller d'un maire, c'est le chef de village, la mairie a pour mission d'être aux services de la population. Nous entretenons de bonnes relations avec les autorités coutumières. En ce qui concerne le côté morcellement des sites, c'est la chefferie locale qui pilote les projets. En quelque sorte tous les acteurs sont impliqués dans le morcellement : autorité coutumière, Mairie, Sous-préfecture, préfecture, voire gouvernement ».*

Derrière ces discours, se cachent d'autres réalités peu reluisantes. S'agissant des relations administration et pouvoir local. Les rapports ne sont pas toujours au beau fixe. Certains usagers accusent l'administration de conspirer contre eux. D'autres voix discordantes pensent que les autochtones ont été dupés par les autorités administratives lors de différents morcellements effectués à Kabala. Souvent les morcellements sont orchestrés juste pour s'enrichir ou intéresser leurs proches. D'après certains individus enquêtés, en cas de morcellement de leurs propres champs, l'administration accapare la moitié pour des raisons inavouées. Cela engendre un sentiment de frustration et de méfiance à l'égard de l'Administration. Les pratiques corruptives sont devenues presque une norme de gestion des affaires foncières.

Par ailleurs, de l'avis de services techniques locaux, la mairie et les autorités coutumières soufflent dans la même trompette. Ils les considèrent comme de partenaires stratégiques qui traitent leurs affaires foncières sans impliquer d'autres services techniques dont l'avis est très indispensable. Le



discours de cet agent M.S d'un service technique est assez illustratif : « *Les maires et les chefs coutumiers sont complices. Ils s'entendent pour morceler souvent les places publiques. Les chefs coutumiers nous évitent sauf en cas de litiges fonciers entre eux. En dehors de ça, on n'est pas consulté* ». Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette situation. D'abord, les élus municipaux sont issus de la base donc potentiellement leurs parents, leurs proches. Ensuite les rapports clientélistes entre eux, les hommes politiques pour constituer leur électorat, tissent de bons rapports avec les leaders traditionnels. Eux aussi de leur côté, ils bénéficient de retombées économiques. Souvent les leaders traditionnels se reconvertissent en hommes politiques pour renforcer leur pouvoir menacé par la décentralisation.

Par conséquent, ils peuvent estimer que les services techniques ne sont pas légitimes en matière du foncier. Et puis encore, la procédure administrative que prônent les services techniques paraît très mesquine à leurs yeux. Le langage technique du foncier est peu accessible aux paysans. Donc, il fallait inventer de stratégies de contournement de tous ces obstacles.

Comme déjà signalé plusieurs services devraient être impliqués dans la gestion foncière, cependant les plus actifs sont la mairie et la sous-préfecture. Deux registres se dégagent, d'une part, certains considèrent que les relations de collaboration sont normales et d'autre part, les services techniques pensent que les rapports entre mairie et le pouvoir local sont empreints de complicité.

A cet effet, les relations entre l'administration (mairie, sous-préfecture, préfecture, etc.) et les autorités coutumières sont variées et multiples. Avec la pression foncière, les relations deviennent de plus en plus conflictuelles autour de la gestion de certaines ressources d'intérêt public, notamment la terre.

5. Le jeu foncier des acteurs dans l'arène locale

En matière de gestion de ressource foncière à Kabala, deux types de droit s'appliquent, il s'agit du droit coutumier et du droit positif. Pour le premier cas, les communautés ont une certaine emprise sur leur terroir, cette responsabilité incombe aux propriétaires terriens, plus précisément la chefferie traditionnelle qui est le garant et veille sur la répartition équitable de la terre entre les habitants. En ce qui concerne le second, il est l'apanage de l'administration (mairie, sous-préfecture, préfecture, etc.)

Avec l'absorption de Kabala par la ville de Bamako, les autorités coutumières ont vu leur compétence diminuer au profit de celle de l'administration. Selon **F. K** : « *Au départ c'était la chefferie traditionnelle, mais par la suite, d'autres acteurs sont venus*

s'immiscés. L'attribution était faite de façon informelle et avec le morcellement, toutes les parcelles ont été identifiées, c'est à partir de ce moment que l'administration a commencé la délivrance des documents officiels (lettres d'attribution, permis d'occupation, etc.). Certains ont payé leur parcelle à trente-cinq mille (350000) et ont déboursé plus de cent mille pour avoir leurs documents administratifs ».

En effet, le phagocytage a entraîné la multiplication des acteurs en matière de gestion foncière, la flambée des prix de parcelles, qui au départ, étaient acquises avec dix noix de cola et de nos jours sont vendues avec des dizaines de million. Selon un agent technique **M. S** : « *Il y a un chevauchement à ce niveau, la sous-préfecture, la préfecture, la mairie attribuent toutes. Ensuite, les autorités coutumières sont dans l'arène foncière au nom du principe coutumier. La mairie quant à elle, elle a eu le pouvoir d'attribuer les terres il y a seulement 15 ans. Mais toutefois, tous ces acteurs interviennent. Avec son corollaire d'affectation de la même parcelle à trois personnes. Souvent la même autorité peut attribuer la même parcelle à deux ou trois personnes sans vérifier* ».

L'usage des deux types de droit et le nombre important d'acteurs impliqués dans l'arène locale compliquent de plus en plus la gestion foncière. De plus en plus le droit positif transcende le second qui est taxé d'informel.

6. L'émergence des nouveaux acteurs locaux dans la gestion de la cité

Dans ce cadre du phagocytage du village de Kabala, de nouveaux acteurs émergent comme la jeunesse, les femmes, les allochtones, les associations socioprofessionnelles, la mairie, etc. Tous ces acteurs sont désormais consultés quant à la gestion de la cité. Avant ce phénomène, seul le conseil villageois était habilité à administrer le village et sans associer d'autres institutions. Ces institutions même quand elles existaient, n'avaient pas droit au chapitre. En fait, cette transformation brusque du village en ville n'est pas sans effet sur l'institution du conseil village. Elle est contrainte d'impliquer d'autres acteurs sous peine de disparaître. Comme le démontre l'extrait de cet entretien de ce notable de Kabala, **C.V** : « *Il y a d'autres personnes qui sont impliquées, autour du chef de village. On nomme des conseillers par secteur pour appuyer, et travailler en équipe. Les allochtones sont représentés au niveau du conseil villageois. La chefferie seule ne peut pas gérer seul, Kabala est partie intégrante de Bamako* ».

Les autorités villageoises cèdent de plus en plus une partie de leurs prérogatives aux nouveaux acteurs. Dans le village de Kabala, les allochtones sont largement majoritaires. De nouveaux secteurs ou



quartiers poussent presque chaque année. Théoriquement, chaque secteur est dirigé par le premier étranger installé dans les lieux. Dans ces conditions, il est difficile de contrôler toutes ces nouvelles zones qui pullulent ; seul l'ancien noyau est sous l'emprise du chef de village.

Autre institution très dynamique, le conseil de la jeunesse, il est aussi consulté sur les questions relatives à la jeunesse. La jeunesse détient ses propres réseaux relationnels hors du village. Toute question ayant trait à la jeunesse, l'Etat, les ONG et d'autres partenaires la consultent sans forcément l'aval du conseil villageois. Il revient à la jeunesse d'informer, à son tour, les autorités coutumières. Certains jeunes sont très instruits, ce qui contribue à l'influence dans le village.

Ensuite, les femmes ne sont pas en marge, elles ont leur mot à dire désormais dans les sphères de décision. Surtout quand on sait que les questions de genre sont prises au sérieux par les partenaires au développement. A leurs yeux, elle constitue la majorité silencieuse.

La mairie également s'intéressant aux questions foncières, qui autrefois relevaient de la chefferie traditionnelle, on constate maintenant une cogestion en la matière. C'est la raison pour laquelle certaines notabilités descendent dans l'arène politique pour asseoir leur pouvoir qui est menacé. Le patrimoine foncier n'est plus la seule propriété villageoise avec l'avènement de mairies. De l'avis de certains, elle cherche à se substituer aux autorités villageoises.

A l'analyse, le phagocytage a transformé non seulement la physionomie du village, mais aussi les rapports entre les Hommes. C'est ainsi que d'autres institutions émergent et s'interfèrent dans les prises de décision qui étaient la chasse gardée du pouvoir local. Ces mutations ont réduit la marge de manœuvre de l'institution coutumière en promettant aux cadets sociaux d'être impliqués dans la moindre mesure. En perspective, ces autorités traditionnelles vont être anéanties davantage voire disparaître dans le temps face à l'urbanité de la zone avec son corollaire de la surpopulation et ses effets négatifs.

7. Les stratégies de survie : l'adaptation et alternative aux nouvelles exigences

La population de Kabala vivait de l'agriculture, mais avec l'absorption de leur espace, les habitations ont remplacé les champs. Cette situation a bouleversé le système de vie de la population locale. Elle était contrainte de se reconvertir pour assurer sa survie. Selon le point de vue de cette femme, **B. C** : « nous dépendons actuellement de la culture et la vente des produits maraichers, c'est qui nous permet de soigner nos enfants, payer leurs fournitures et tous les autres besoins de nos ménages. Quant aux jeunes, ils exercent des petits métiers : maçonnerie,

menuiserie, etc. ». Les activités varient selon les couches socio-professionnelles, les femmes pratiquent majoritairement le maraîchage et les jeunes évoluent dans la maçonnerie, menuiserie, mécanique, etc.

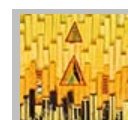
Au-delà de ces activités, la population a trouvé d'autres stratégies pouvant leur garantir la survie, il s'agit de la formation des organisations communautaires ; association, coopérative, etc. Ces organisations leur permettent de tisser des partenariats avec des partenaires au développement parmi lesquels nous avons les projets de développement, les Organisations Non Gouvernementales, etc. Selon le responsable des jeunes, **J.T** : « Nous avons adopté plusieurs stratégies pour survivre. Elles sont nombreuses. (Rires !). Il y a le commerce, les études, les métiers (mécanique auto, menuiserie...). Mais ce que la jeunesse est en train de faire, je peux vous édifier sur ça. Les activités menées par la jeunesse sont assez diversifiées, on pratique plusieurs activités. La plupart des jeunes travaillent avec les coopératives surtout celle des femmes, la plus importante du village, la coopérative multifonctionnelle de femmes de Kabala et puis c'est international aussi. Elle est reconnue par les autorités ».

Les autorités semblent être préoccupées de la survie de la population même si ses mesures d'accompagnements peinent à être réalisées. Selon le point de vue de ce conseiller municipal, **M.S** : « Rien ne garantit, la survie de la population de Kabala en réalité. S'il faut appliquer les textes, la plupart des autochtones seront en location, ils ont vendu toutes les terres et n'ont pas d'activité sûre, en vendant ces terres, ces autochtones pensent que l'argent ne finit pas. De nos jours, ils n'ont plus de terres, pas d'activité et la plupart des vieux ne sont plus à mesure de travailler, aucune alternative de survie ! A cet effet, nous sommes en train d'envisager un centre de formation, comme mesure d'accompagnement, en vue de rendre les jeunes autonomes ».

A la lumière de tous ces discours, il est à retenir que le phagocytage a bouleversé le système de vie de la population de Kabala, l'obligeant d'abandonner ses activités au profit de nouvelles exigences de la vie urbaine.

8. La perception du phagocytage de leur espace

Face à la question de la perception du phagocytage, les deux registres discursifs se mobilisent. Mais, néanmoins le premier registre, l'ancienne génération manifeste des inquiétudes, des appréhensions, de regrets et de remords quant à l'occupation de leur espace. Ces bouleversements ont porté préjudice à leurs moyens d'existence, leur culture, leur identité, leur autorité, bref. Tandis que dans un autre registre discursif, pour la nouvelle génération, le



phagocytage est bénéfique permettant de désenclaver le village, doté la zone de services sociaux de base et des infrastructures modernes.

Ainsi, le phagocytage de leur village est très mal vécu par les anciens qui ont vu impuissamment leur finage villageois changer de vocation en le transformant à un lieu d'habitation au détriment des activités agricoles dont ils tiraient les moyens de subsistance. Le passage du discours de ce notable, C.V est assez révélateur : « *C'est une occupation voulue par Dieu. Qu'est-ce que je veux dire. Si tes propres terres ne t'appartiennent plus, on te les retire de force qu'est-ce que tu vas dire. On ne dispose pas de pouvoir, donc il faut se remettre à Dieu. C'est lui, le Guide suprême* ».

Ce discours résume les réalités vécues surtout par la population autochtone dépossédée de terres qui constituent leur sève nourricière. Pour l'ancienne génération, la situation actuelle est peu confortable. Comme le souligne l'avis d'une personne ressource, F. K : « *Le phagocytage a eu plus d'effets négatifs que positifs, c'est vrai, ils ont eu l'électricité, et des routes, mais il faut savoir en tirer profit sinon ces réalisations n'ont aucun sens et c'est le cas actuellement. Ils ne peuvent tirer aucun profit et d'ailleurs tout est devenu cher, le prix de maison, de magasin à grimper* ». D'ailleurs, les vieux estiment que les effets de la modernité profitent seulement à l'élite qui est venue s'installer à Kabala qu'eux qui sont des paysans désormais au chômage. La cherté de la vie est aussi évoquée comme une des conséquences de l'étalement urbain. Le discours de cet allochtone M. D décrit les réalités empiriques : « *C'est surtout le côté éducatif qu'on déplore, l'effritement de cette valeur a entraîné d'énormes problèmes, vol à main armée, consommation de drogue, etc. Aussi, le bradage de terre, au départ, c'était dix (10) noix de cola, par la suite, les prix ont grimpé de dix mille francs (10.000 Francs CFA) aux millions. Ce sont les autochtones qui ont vendu ou bradé la terre* ». Outre l'effritement de valeurs sociales comme l'éducation, sous un autre angle, la situation que dénoncent les autochtones, ils seraient à la base de la vente de leur espace agricole à vil prix. Les fondateurs du village tentés par le gain facile ont bradé leurs terres selon certaines sources.

A l'analyse de données recueillies, deux registres discursifs se mobilisent, l'ancienne génération estime que leurs conditions de vie étaient meilleures qu'aujourd'hui, les rendements agricoles prenaient en charge leurs dépenses familiales. Les valeurs sociales étaient intangibles comme la cohésion sociale, la solidarité mécanique, l'éducation, le respect des aînés, l'autorité... Or de nos jours, elle voit tout à l'envers. Avec l'occupation anarchique de leur terroir, elle constate l'effritement de ces valeurs, plus la pauvreté et le manque de perspectives. Il faut noter la perte de leur identité dans la nouvelle société

où les autochtones sont minoritaires dans leur propre terroir. Ils pointent du doigt les méfaits de la ville tels que la délinquance juvénile, le vol, le viol, les accidents de la circulation et d'autres nuisances. Il y a aussi la cherté du coût de la vie en ville. De nouvelles exigences s'instaurent avec cette modernité. Comme l'explique Y.T : « *Avant, la nourriture n'était pas un souci, il n'y a pas les problèmes de frais de condiments. Les femmes ne demandaient jamais le prix du condiment, la question ne se posait même pas. Les gens cultivaient les ingrédients de la sauce comme dah, arachide, le néré, etc. De nos jours, le prix de condiment est obligatoire* ».

En revanche, chez la nouvelle génération, ces transformations économiques et sociales sont perçues comme une véritable aubaine pour s'émanciper. Sans occulter certaines difficultés inhérentes à l'occupation de leur espace ; elle considère que l'avènement de la ville a permis la création des services socio-économiques et du bien-être. A titre d'exemple, elle cite l'école, le centre de santé communautaire, le marché, le transport, l'eau potable, l'électricité, la diversification des activités, etc. Elle estime que leurs conditions d'existence s'améliorent mieux qu'avant. On peut conclure cette partie par les propos du responsable jeune J.T qui fait l'éloge de leurs temps : « *Quand on essaie de comparer, pour nous la nouvelle génération, en partant de ce que je connais et mon époque, en réalité, notre temps est meilleur par rapport au passé, le temps de nos parents. Si tu analyses, présentement, le nombre des enfants qui fréquentent l'école... Avant, les gens refusaient de fréquenter l'école. Deuxième aspect, la santé, ça a beaucoup amélioré. Avant, l'accès aux soins étaient un obstacle, il fallait parcourir une grande distance pour aller se soigner. Sans compter la fourniture de l'électricité, et d'autres biens- être. La vie devient facile* ».

A la lumière des données recueillies, il ressort que ce phénomène est diversement apprécié par les enquêtés selon qu'ils soient autochtones ou allochtones, jeunes ou vieux. Les premiers trouvent que le phagocytage a été un moyen de désappropriation de leur espace, mais aussi de perte de certaines valeurs traditionnelles. Par contre, la jeune génération apprécie le changement à travers les réalisations des infrastructures socio-économiques de base, la viabilisation, l'accès à l'eau et l'électricité considérés comme des acquis du phagocytage.

CONCLUSION

Il ressort de cette étude, que deux événements significatifs ont accéléré le phagocytage de Kabala. Il s'agit des réalisations des infrastructures sportives dans le cadre de la CAN 2002 et la cité universitaire. A ceux-ci s'ajoutent l'étalement urbain et la



dynamique démographique dans un contexte d'urbanisation anarchique. Ainsi, le phagocytage a contribué à la transformation de modes de vie de la population locale qui, jadis, vivait des activités agricoles. Face à cette mutation, la population autochtone a dû adopter plusieurs stratégies de survie parmi lesquelles, les métiers professionnalisants. Cependant, l'ancienne génération peine à s'adapter aux nouvelles réalités.

Ce phénomène a entraîné la compétition et la concurrence autour des terres, l'effritement des valeurs sociétales, les conflits de génération, d'autochtones et d'allochtones. Il a également favorisé l'émergence de nouveaux acteurs dans la gestion foncière en réduisant la marge de manœuvre des autorités traditionnelles qui avaient le monopole en la matière.

Cet article ne saurait épuiser toute la problématique liée au phagocytage des zones périurbaines du Mali en général et particulièrement celles de Bamako. Il est nécessaire d'entreprendre d'autres travaux pour mieux appréhender ce phénomène.

BIBLIOGRAPHIE

1- BLANCHET, Alain et GOTMAN Anne (2015) : L'entretien, Armand Colin, Paris.

2- DIAZ OLVERA Lourdes, PLAT Didier, POCHET Pascal. Villes africaines au quotidien. Lyon : LET. 1998. 170 p. (Etudes et Recherches N°9) consulté le 12 février 2020 sur le site <http://www.let.fr>

3- GOUMENE, Didier Charles et al. : Etalement Urbain Et Tensions Foncières Dans Les Villages Périphériques De Daloa (Centre-Ouest, Cote d'Ivoire), European Scientific Journal December 2017 edition Vol.13, No.35 ISSN : 1857 – 7881.

4- N'DA, Paul (2015) : Recherche et méthodologie en sciences sociales et humaines : réussir sa thèse, son mémoire de master ou professionnel, et son article, L'Harmattan, Paris.

5- PAUGAM, Serge, dir. (2012) : L'enquête sociologique, PUF, Paris

6- ROSSI, Georges, LAVIGNE DELVILLE, Ph. Et NARBEBURU, D., 1998. Sociétés rurales et environnement : Gestion des ressources et dynamiques locales au Sud, Karthala, Regards et GRET, 402p, pp 21



Vers une inclusion du système financier: une étude appliquée sur les « oubliés » de la microfinance au Mali

Madou Cisse* et Abdoulaye Camara

¹Faculté des Sciences Economiques et de Gestion de Bamako

Email : madouciss@live.fr

RESUME : Les Institutions de Microfinance maliennes se sont données pour objectifs de favoriser l'accès des pauvres au financement bancaire classique pour leur permettre d'investir et de devenir entrepreneurs mais aussi de les sortir « des griffes des usuriers ». Cependant, force est de constater que leur action n'est pas accompagnée et l'utilisation des services de microfinance répondent plus aux propriétaires de micro et petites entreprises, écartant du coup les populations les plus pauvres. Ce papier propose une nouvelle approche d'amélioration de l'usage des services financiers par ceux que nous appelons les « oubliés de l'inclusion financière » évoluant dans le secteur informel au Mali. Cette approche repose sur le renforcement des capacités financières desdits « oubliés », ce qui pourra leur permettre in fine d'intégrer des institutions de microfinance. Afin d'atteindre cet objectif, le processus théorique que nous avons préalablement élaboré et présenté dans le présent papier fut expérimenté à travers une étude de cas impliquant six commerçants évoluant dans le secteur informel sur une période de 450 jours. Nos résultats montrent que quatre « oubliés » sur six ont vu leurs capacités financières renforcées. Et trois (3) « oubliés » (soit 50%) des participants à l'expérimentation ont pu intégrer des caisses de microfinance de leur choix.

Mots clés : inclusion financière, microfinance, Mali.

ABSTRACT: The Malian Microfinance Institutions have set themselves the objective of favoring the access of the poor to the classic bank financing to enable them to invest and become entrepreneurs, but also to get them out of the clutches of usurers. However, it is clear that their action is unaccompanied and the use of microfinance services is more responsive to the owners of micro and small businesses, leaving the poorest people out of reach. This paper proposes a new approach to improving the use of financial services by those we call "forgotten financial inclusion" in the informal sector in Mali. This approach is based on strengthening the financial capacities of these "forgotten", which may ultimately allow them to integrate microfinance institutions. In order to achieve this objective, the theoretical process that we had previously elaborated and presented in this paper was tested through a case study involving six traders operating in the informal sector over a period of 450 days. Our results show that four out of six 'forgotten' have seen their financial capacities strengthened. And three (3) "forgotten" (or 50%) of the participants in the experiment were able to integrate microfinance funds of their choice.

Keywords: financial inclusion, microfinance, Mali.

I. INTRODUCTION

Selon Joseph Schumpeter, « pour pouvoir produire en général, pour pouvoir exécuter ses nouvelles combinaisons, l'entrepreneur ne peut se passer de pouvoir d'achat. Celui-ci ne lui est pas offert, comme au producteur dans le circuit, automatiquement par la recette des produits de la période économique précédente. Si, par hasard, l'entrepreneur ne possède pas par ailleurs ce crédit, il lui faut l'emprunter. S'il ne réussit pas, il ne peut pas devenir un entrepreneur. »

Cette phrase de Schumpeter explique à elle seule la raison d'être de la microfinance: permettre aux idées entrepreneuriales d'émerger pour qu'une dynamique économique vertueuse s'installe, génère le développement économique et de la croissance économique.

Le terme microfinance inclut une grande variété de services financiers (prêt, assurance, épargne) et s'applique de différentes façons (prêts solidaires, prêts individuels) dans le cadre de structures juridiques variées (associations, sociétés, coopératives, mutuelles). La microfinance s'adresse à des typologies de clientèles qui mènent des activités économiques dans le milieu urbain comme rural. Cependant, « il existe de très nombreux micro-entrepreneurs (volontaires ou contraints par les circonstances) qui souhaitent développer des activités génératrices de revenus (puisque'il manque d'emploi et de mécanismes de sécurité sociale) » (1). Les institutions de microfinance ne s'intéressent pas à certains micro-entrepreneurs, notamment les plus pauvres. Ce retrait peut s'expliquer par l'incapacité des Institutions de Microfinance (IMF) de travailler avec ces micro-entrepreneurs qui ont des revenus faibles et irréguliers, donc elles préfèrent les ignorer. Cette mise en avant du non financement des micro-



entrepreneurs avec des revenus faibles et irréguliers est révélatrice de la forme qu'a prise la microfinance au Mali et conduit logiquement à l'existence d'une catégorie de groupe de personnes qui seront laissés pour compte face à cette situation. Ce groupe de personnes que nous appelons les « oubliés ». Ces oubliés (plus pauvres) de l'inclusion financière sont des personnes qui mènent des activités commerciales quotidiennement dont les revenus ne leur permettent pas de dégager assez de ressources pour intégrer le secteur de l'IMF. Ces « oubliés » sont généralement des petits commerçants évoluant dans le secteur informel et menant diverses activités commerciales allant de la vente de fruits et légumes aux céréales sèches en passant par la vente de charbons de bois, de sandwiches etc.

Bien que le problème des « oubliés » ait des ramifications dans de nombreux domaines vitaux (par exemple, l'éducation, la protection sociale, la santé), le présent papier traite uniquement des oubliés des services de l'IMF. Inclure les personnes à revenus faibles dans le système financier formel revient à résoudre de sérieux problèmes de développement. L'impact positif de l'inclusion financière¹ sur le développement fut établi par plusieurs études empiriques sur cette thématique. Malgré l'existence d'un tel impact, force est de constater que le taux d'inclusion financière est très éloigné d'être satisfaisant au plan mondial estimé en 2017 à 69% des adultes dans le monde disposant d'un compte auprès d'une institution financière (2). Ce taux baisse à 35,9% à la même date pour la zone de l'Union Economique et Monétaire Ouest Africaine (UEMOA) (3). Et le Mali le fait pas mieux que la moyenne de cette zone car elle a enregistré à la même date un taux de bancarisation élargi de 25,1% des adultes de plus de 15 ans (3).

Une chose est sûre et certaine il existe plusieurs obstacles qui peuvent expliquer cette faiblesse de niveau d'inclusion financière au Mali. Un des principaux obstacles est la faiblesse des ressources ou d'actifs des personnes. En 2017, 63,95% des adultes de plus de 15 au Mali déclaraient selon la Banque Mondiale de ne pouvoir pas accéder aux institutions financières formelles pour insuffisance de revenus. Cette faiblesse de revenus ou de ressources conduit logiquement à l'existence d'une catégorie de groupe de personnes qui seront laissés pour compte face à cette opportunité. Ce groupe de personnes que nous appelons les « oubliés » de l'inclusion financière sont des personnes qui mènent des activités commerciales quotidiennement dont les revenus ne leur permettent pas de dégager assez de ressources pour intégrer le

secteur financier formel. Ces « oubliés » sont généralement des petits commerçants évoluant dans le secteur informel et menant diverses activités commerciales allant de la vente de fruits et légumes aux céréales sèches en passant par la vente de charbons de bois, de sandwiches etc.

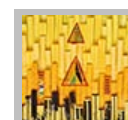
L'économie malienne est principalement dominée par le secteur informel (4). Cette domination est traduite dans les faits par la capacité d'absorption de ce secteur de la main d'œuvre disponible et aussi par sa contribution au Produit Intérieur Brut (PIB) du Mali. Les secteurs primaire et tertiaire sont les deux principaux secteurs qui renferment la totalité des activités économiques informelles au Mali. Dans ces deux secteurs l'informel représente respectivement 98% et 66% des activités économiques entreprises (4). Face à un tel descriptif une des façons de permettre aux « oubliés » de l'inclusion financière d'intégrer le secteur financier formel est de les permettre d'accroître leurs ressources journalières. En permettant cela nous consolidons leurs activités commerciales. Une fois que celles-ci sont consolidées à travers l'augmentation de ressources ou de revenus, ces « oubliés » de l'inclusion financière pourront définitivement intégrer le secteur financier formel par leur intégration à des caisses de microfinance de leurs choix.

Dans le but de doter les « oubliés » de l'inclusion financière de revenus pouvant leur permettre d'intégrer le secteur financier formel, nous avons mis en place une nouvelle approche d'intégration. Cette nouvelle approche passe primordialement par le renforcement de revenus de ces derniers. Ce renforcement de revenus s'appuie sur un processus d'épargne et de désépargne impliquant les différents participants. Ce processus qui s'étale sur sept (07) phases doit se terminer normalement par l'intégration du secteur financier formel par les différents participants. Notre approche est différente des tontines ou épargnes informelles associatives et sociétaires (5) sous l'angle de sa mise en œuvre et sur sa finalité. En plus le processus dans son évolution génère des ressources supplémentaires pouvant être captées peut-être par un mécanisme de multiplicateur que nous n'avons pas implémenté dans ce papier.

Le papier est structuré de la façon suivante. La première section « revue de littérature » est suivie d'une deuxième section qui présente le paysage des institutions de microfinance au Mali. La troisième section du papier présente notre méthodologie qui est suivie d'une quatrième section de présentation de l'étude de cas que nous avons faite dans le but de mesurer l'impact de notre méthodologie. La

¹ L'inclusion financière (IF) peut être définie comme l'offre de services bancaires à des coûts abordables à une vaste section de personnes défavorisées et aux groupes à revenus faibles (23). Cette définition de

l'inclusion financière permet d'emblée de distinguer une des principales cibles de l'inclusion financière à savoir les personnes à revenus faibles.



présentation de nos conclusions et limites de la recherche est précédée par celle des résultats de l'étude de cas.

II. COMMENT EST-IL PERÇU LE RÔLE DE L'INCLUSION FINANCIÈRE DANS LE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE ? UNE REVUE DE LA LITTÉRATURE

L'inclusion financière (IF) est considérée comme une des clés de voûte du développement économique. C'est pour cette raison qu'elle cristallise l'attention des politiques, des régulateurs et une partie non négligeable de la communauté scientifique depuis belle lurette. La corrélation positive entre inclusion financière et développement est démontrée dans les études empiriques (6) ; (7) ; (8) ; (9) ; (10).

Tous les écrits sont unanimes sur des liens pouvant exister entre l'inclusion financière et le développement économique. Cet unanimisme est mis en évidence par les propos suivants tirés de Babajide, Adegboye, & Omankhanlen, 2015 : « le développement financier n'est pas seulement le résultat du développement économique mais il conduit aussi ce dernier. » (10). Certains auteurs comme par exemple Aduda & Kalunda, 2012 vont jusqu'à soutenir que l'inclusion financière est le prérequis au développement économique. Il ressort de leurs revues théoriques et empiriques que la majorité de la population mondiale est financièrement exclue (7). Ce type d'exclusion conduit à l'exclusion sociale. L'exclusion sociale étant à la base de la non-participation des concernés aux activités sociales et économiques. Ce qui aboutit à une aggravation des inégalités.

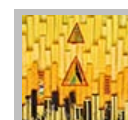
Pour atteindre une inclusion financière réussie il faut améliorer les conditions d'offre des services financiers qui font référence principalement aux conditions d'accès ainsi que les conditions de demande qui sont relatives aux usages et à la qualité des services offerts. Dit autrement l'affaiblissement des obstacles ou barrières côtés offre et demande doit figurer en tête dans les agendas des régulateurs et décideurs politiques (8) (11).

Le côté demande de l'inclusion financière peut présenter plusieurs obstacles. Ces obstacles à une inclusion financière réussie peuvent être : la faible productivité des personnes concernées, leur vulnérabilité, le faible niveau de qualification, la faiblesse des relations commerciales (12) ; la distance qui les sépare des institutions financières, le manque de documentation (13) ; la self-exclusion ou l'auto exclusion (14) ; la faiblesse de densité de la population et ainsi que la faiblesse de revenu (15).

La faiblesse de revenu revient de manière récurrente dans les études empiriques faites sur les principaux obstacles conduisant à l'inclusion financière surtout dans les pays en développement. En 2011, Laha et

Kuri ont cherché à mesurer les variations inter Etats en Inde en termes d'accès au secteur financier. Pour cela ils ont identifié les facteurs sous-jacents créant des obstacles dans le processus d'inclusion financière dans l'ouest rural du Bengale. Ils ont conclu qu'il existe un important écart entre Etats indiens en termes d'inclusion financière. Ils affirmaient en plus que des actions menées positivement sur la sensibilisation relativement aux services bancaires, la diversification du secteur non agricole en milieu rural, l'alphabétisation financière et l'accroissement d'actifs des paysans peuvent contribuer à créer un environnement favorable à la réduction des obstacles dans le processus d'inclusion financière. (12). Mandira & Pais 2011 arrivaient à des résultats similaires en soutenant que l'exclusion financière est le reflet de l'exclusion sociale qui est due principalement à des revenus faibles, l'inégalité, à l'analphabétisme, à un faible niveau d'urbanisation et à une faible connectivité (6). Demirgüç-Kunt & Klapper, 2012, ont fait un papier présentant une revue de la situation de l'inclusion financière en Afrique. Après avoir présenté brièvement le secteur financier africain le papier utilise les données du Findex pour caractériser les adultes utilisant les secteurs financiers formel et informel. Ils ont cité la faiblesse des revenus parmi les barrières à l'ouverture de compte personnel (13). En 2013, Akudugu après avoir soutenu qu'il existe un faible taux d'inclusion financière dans les pays en développement d'une manière générale et que l'Afrique subsaharienne n'en est pas une exception à plus forte raison le Ghana il a examiné les déterminants de l'inclusion financière en Afrique de l'ouest avec un focus spécifique sur le Ghana. Les résultats de l'étude montrent que seulement 40% des adultes sont inclus dans le système financier formel au Ghana et qu'en plus le revenu constitue un déterminant important de l'inclusion financière (16). En 2015 Babajide et alliés en 2015 sont arrivés à la conclusion qu'il est impératif de disposer de ressources financières adéquates pour améliorer l'inclusion financière (10). Enfin en 2017 selon les données de « Global Financial Inclusion » de la Banque Mondiale 58,37% des personnes de 15 et plus de la zone Union Economique et Monétaire Ouest Africaine (UEMOA) affirment ne pas pouvoir avoir un compte dans une institution financière pour faute de revenus suffisants. Ce même taux est estimé pour Mali à la même date à 63,95%.

Incontestablement l'inclusion financière est un levier essentiel dans le développement économique. Le développement de ce levier peut être entravé par des obstacles divers dont la faiblesse de revenu. Et pourtant, cet obstacle semble dominer tous les autres en Afrique et singulièrement au Mali. Cette faiblesse conduit en réalité à l'émergence d'un groupe de personnes à revenus très faibles. Ce groupe que nous appelons les « oubliés » de l'inclusion financière ne



peut sans soutien extérieur intégrer par leurs propres efforts le système financier formel. Aider ce groupe par des mesures de renforcement de ressources ou d'actifs et aussi d'alphabétisation va leur permettre in fine d'intégrer le système financier formel.

A la suite de cette revue nous présentons une vision panoramique sur l'économie du Mali relativement au secteur informel en lien avec l'inclusion financière cette présentation sera suivie de la présentation de la méthodologie de travail adoptée.

III. LE PAYSAGE DES INSTITUTIONS DE MICROFINANCE AU MALI

Les institutions de microfinance appelées encore les systèmes financiers décentralisés (c'est-à-dire des systèmes financiers travaillant dans une grande proximité avec leurs clients/bénéficiaires) ont pour but essentiel d'apporter des services financiers (dépôt et crédit) aux couches les plus défavorisées et qui sont généralement exclues du système bancaire classique.

1.1 De l'informel à la micro finance:

Le système financier décentralisé, le microcrédit, l'épargne et crédit solidaire, tous ces termes (ou formes) sont souvent avancés comme modèle d'une meilleure approche aux petits opérateurs économiques

Pour parler comme Lelart «l'émergence de la micro finance est une manifestation de la vitalité de la finance informelle». La micro finance est culturellement très proche de finance informelle avec lesquelles elle se confond parfois. Elle réussit de ce fait, mieux que les banques commerciales, à s'approprier de cette importante niche d'épargne pour l'intégrer au système formel. La micro finance, a été conçue pour être complémentaire au financement bancaire, et ces relais sont constitués par les systèmes financiers décentralisés.

1.2 Les différentes formes institutions:

Depuis la création de la première institution de micro finance en 1976 au Bangladesh jusqu'à nos jours, la micro finance est bâtie autour de trois types d'institutions de micro finance: crédit solidaire à l'image de l'expérience de la Grameen bank au Bangladesh, et les coopératives auxquelles sont rattachées les mutuelles et les caisses villageoises. A Chaque type correspond une technique spécifique.

1.2.1 Les crédits solidaires ou le modèle de la Grameen Bank:

A travers le monde, les plus connus sont la Grameen Bank au Bangladesh et la Bank Rakyat en Indonésie (BRI). Ces deux banques touchent des millions

d'épargnants et d'emprunteurs parmi lesquels les femmes sont les plus nombreuses.

Le modèle de crédit solidaire est semblable à une coopérative mono fonctionnelle de crédit. Les demandeurs de crédit se mettent ensemble pour emprunter des fonds à l'extérieur, fonds rétrocédés sous forme de crédit aux membres (Soulama.S, 2005)².

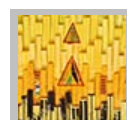
Le système est fondé sur le principe de la solidarité et de la responsabilité du groupe avec une épargne préalable. Si un des membres du groupe ne rembourse pas son crédit, les autres devront rembourser à sa place. La cohésion sociale du groupe est l'élément essentiel et il peut aller de cinq à vingt personnes suivant des cas. Le modèle est souvent reproduit dans de très nombreux pays mais il nécessite à chaque fois une adaptation importante au contexte local.

1.2.2. Les formes coopératives: mutuelles, caisses villageoises :

Les coopérations mutuelles sont considérées comme les pionnières dans la micro finance moderne, elles constituent aussi un bon exemple du secteur intermédiaire dans le domaine financier. Il faut attendre dans les années 80 pour voir apparaître CVECA au pays Dogon du Mali. Ces institutions disposent d'une existence officielle, avec en général une reconnaissance juridique, ce qui les distingue du secteur informel ou autonome. Elles attachent beaucoup d'importance à l'équilibre financier et aux taux de récupération des prêts, ce qui les rapproche des banques.

Dans son principe, les membres s'associent pour regrouper leur épargne et se faire mutuellement crédit à des taux raisonnables. Du point de vue technique, les coopérations mutuelles privilégient la fonction épargne et ne font en principe du crédit qu'à partir de l'épargne collectée. Les coopérations mutuelles montrent donc qu'il est possible de mobiliser de l'épargne en milieu populaire, en général pour des raisons de sécurité et de liquidité beaucoup plus que de rémunération, et que dans ces conditions la motivation des paysans dans le remboursement du crédit provenant de leur propre épargne est beaucoup plus forte que si les fonds viennent de l'extérieur. En privilégiant l'épargne, les coopératives mutuelles ont tendance à accueillir davantage les couches moyennes de la population écartant souvent les femmes et les paysans les plus pauvres, et à limiter les crédits disponibles à une fraction (entre 30% et 80%) de l'épargne collectée et surtout à une faible proportion des épargnants (souvent moins de 15%). Cependant plusieurs réseaux, notamment au Bénin et

² Soulama. S, «micro finance, pauvreté et développement », AUF et éditions des archives contemporaines, Paris, 2005



au Burkina Faso ont des programmes spécifiques qui permettent des modalités particulières d'insertion des femmes dans les coopérations mutuelles.

Quant à la coopérative des caisses villageoises, elle est très différente de celle des mutuelles sur tous les autres points.

Les caisses villageoises ne posent pas l'épargne comme une condition d'octroi du prêt. La présence de ces caisses est plus développée en milieu rural, avec une forte insertion dans le tissu social villageois. La zone de l'action reste le village où la caisse est logée. Les membres, tous les habitants du village, prennent décision concernant les caisses en impliquant également les représentants du pouvoir traditionnel. Les caisses villageoises au pays Dogon du Mali (première institution malienne en 1986) constituent l'expérience phare de ces formes d'organisations, avec le soutien financier de la KfW (Kreditanstalt Für Wiederaufbau) et du Centre International de Développement et de Recherche (CIDR acteur de la micro finance depuis 1982) comme opérateur d'appui.

IV. PRESENTATION D'UNE METHODOLOGIE CONCEPTUELLE D'INCLUSION AU SYSTEME FINANCIER

Dans cette rubrique nous présentons les acteurs impliqués ainsi que leurs liens et tout cela suivi par la présentation des critères et conditions d'éligibilité des principaux acteurs. Ces acteurs sont : le Bailleur (B), le Leader-Bénéficiaire (LB) et les Bénéficiaires (Bé)

1.1. La population oubliée

La faiblesse de revenu fut pointée du doigt comme un des principaux obstacles à une véritable inclusion financière au Mali. Près de 64% de la population en âge d'intégrer le système financier formel évoquent le manque de ressources comme principale cause de leur non adhésion. Sachant que 8 personnes sur 10 travaillent au Mali dans le secteur informel dans des entreprises privées individuelles et qu'environ 15% de ces entreprises sont commerciales.

Ceci étant, notre recherche se focalise sur le cas des « petits commerçants³ » évoluant dans le secteur informel. Ces « petits commerçants » ont tous en commun la faiblesse de leurs ressources tirées quotidiennement de leurs activités journalière respective. Ils sont caractérisés par des recettes journalières faibles ne pouvant pas leur mettre de songer un instant à intégrer le secteur financier formel. Ces acteurs économiques n'ont aucune

existence officielle sur le plan commercial car ils ne disposent d'aucune justification légale (registre de commerce, numéro d'identification fiscale etc.). Paradoxalement ces « petits commerçants » sont caractérisés par des capacités de résilience extraordinaires. Ces capacités peuvent être justifiées par la longévité de leurs activités. En plus leurs activités sont stagnantes sur plusieurs années. Notre recherche est orientée spécifiquement vers ces types d'acteurs économiques.

1.2. Présentation des acteurs

Les trois principaux acteurs sont : le Bailleur (B), le Leader-Bénéficiaire (LB) et les Bénéficiaires (Bé)⁴.

- **Le bailleur** : est la personne physique ou morale détentrice de ressources financières qu'elle peut mettre à la disposition d'un ou de plusieurs bénéficiaires à taux zéro pour une période définie. Il apporte le capital et le met à la disposition des bénéficiaires par le truchement du Leader-bénéficiaire.

- **Le Leader-Bénéficiaire** : en plus d'être un des bénéficiaires de l'apport du bailleur est la personne (femme ou homme) chargée de recevoir les épargnes quotidiennes faites par les autres bénéficiaires. Il se trouve au cœur du système de financement. Le bon fonctionnement du système de financement dépend de lui. C'est lui qui propose au bailleur les éventuels bénéficiaires du financement. C'est lui qui reçoit les épargnes quotidiennes des bénéficiaires. Il est moralement le garant de la réussite du système de financement.

- **Les bénéficiaires** : ce sont les femmes ou les hommes qui mènent une activité génératrice de revenus (AGR) ayant bénéficié un apport financier venant du bailleur en vue de soutenir leurs activités économiques. Leur rôle consiste à verser quotidiennement un montant fixé par le bailleur auprès du Leader-Bénéficiaire.

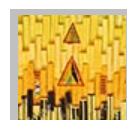
1.3. Critères d'éligibilité du Leader-Bénéficiaire et des Bénéficiaires

Le Leader-Bénéficiaire est la colonne vertébrale du mécanisme mis en place. La réussite du processus dépend principalement de lui et de ses choix futurs des potentiels bénéficiaires des apports du bailleur. C'est pour cette raison que nous avons édicté des conditions strictes et rigoureuses qu'il doit remplir afin d'être choisi comme le représentant du bailleur auprès des différents bénéficiaires.

³ Spécifiquement ces « petits commerçants » sont des indépendants qui interviennent quotidiennement dans diverses activités génératrice de revenus telles que la vente de condiments, de beignets, de charbons de

bois, de légumes frais, de sandwiches au bord des routes etc.

⁴ Voir dans les annexes une représentation simplifiée des liens qui existent entre les différents acteurs du processus.



Pour être éligible le Leader-Bénéficiaire doit impérativement remplir les conditions suivantes :

- Mener une activité génératrice de revenus (AGR) assez importante comparée à celles des bénéficiaires pendant au moins deux ans ;
- Connaître personnellement tous les bénéficiaires;
- Etre en relation commerciale directe ou indirecte avec les bénéficiaires;
- Etre au plus dans un rayon de 200 mètres des différents bénéficiaires;
- Etre disposé (e) à recevoir les épargnes quotidiennes (sauf les jours de repos) des bénéficiaires.

Les bénéficiaires sont en contact direct avec le Leader-Bénéficiaire et en contact indirect avec le bénéficiaire dans l'exécution de leurs activités commerciales. Pour être éligible bénéficiaire l'agent économique doit remplir les conditions ci-après :

- Le ou la bénéficiaire doit mener une activité génératrice de revenus au moins pendant un an. Cette période doit être confirmée par le Leader-Bénéficiaire ;
- Le ou la bénéficiaire doit être de bonne moralité ; c'est-à-dire avoir une bonne réputation dans ses relations commerciales avec les autres partenaires. Cet état « être de bonne moralité » doit aussi être attesté par le Leader-Bénéficiaire et ou les bénéficiaires entre eux ;
- Cette activité doit avoir un chiffre d'affaire journalier inférieur ou égal à 10.000⁵ FCFA;
- Ladite activité est susceptible d'évoluer positivement s'il y a apport de capitaux ;
- Etre recommandé (e) explicitement par le Leader-Bénéficiaire auprès du bailleur.

1.4. Mise en œuvre de l'observation

Les caractéristiques de la population cible permettent de fixer le montant initial de l'apport du Bailleur aux différents bénéficiaires. Dans la mesure où les recettes journalières de la population cible ne dépassent pas 10.000 FCFA ; l'apport initial du Bailleur ne peut dépasser ce montant. C'est d'ailleurs ce niveau d'apport qui fut retenu dans notre recherche.

L'observation des acteurs se fait durant 475 jours (soit 1 an 3 mois 20 jours) découpés en sept (07) phases. Ces phases débutent par l'apport du Bailleur et prennent fin par l'intégration du système financier formel par les acteurs observés. Le retrait de l'apport initial du Bailleur se fait à la 5e phase du processus.

Dans la suite de cette rubrique nous présentons de manière détaillée les différentes phases du processus caractérisées principalement par un jeu Capital-Epargne.

1ere phase : Intervention du bailleur

Le bailleur met à la disposition de chacun des bénéficiaires et au Leader-Bénéficiaire une somme forfaitaire de 10.000 F CFA. Les bénéficiaires injectent les sommes reçues dans leurs activités génératrices de revenus respectives.

2e phase : jeu épargne-capital

Chaque jour (sauf le jour de repos dont le choix dépend du bénéficiaire) tous les bénéficiaires versent auprès du Leader-Bénéficiaire un montant de 100 F CFA jusqu'à concurrence de la mise de l'apport initial du bailleur. Et ce montant sera égal à la fin d'une période de 3 mois 23 jours soit 113 jours⁶.

3e phase : jeu épargne-capital

Le lendemain de la date butoir (soit le 114e jour) le Leader-Bénéficiaire verse aux différents bénéficiaires leurs épargnes respectives qui dans les conditions normales feront 10.000 F CFA sur la période.

Cette épargne perçue vient en augmentation de la mise initiale de 10.000 F CFA; ce qui fera un capital de 20.000 F CFA pour une 2e période de 113 jours. Au cours de cette période le montant des versements quotidiens (sauf les jours de repos) de chaque bénéficiaire sera de 150 F CFA. Au lendemain de cette date butoir (soit le 114e jour) l'épargne effectuée par chaque bénéficiaire auprès du Leader-Bénéficiaire fera 15.000 F CFA qu'il versera au niveau de chaque bénéficiaire.

4e phase : jeu épargne-capital

Les bénéficiaires ayant perçu individuellement 15.000 F CFA les injectent une fois de plus dans leurs AGR pour une autre période de 113 jours. Au cours de cette période la même dynamique décrite dans les phases 2 et 3 est enclenchée. Avec un versement quotidien (sauf les jours de repos) de 250 F CFA. A la fin de cette période chaque bénéficiaire épargnera 25.000 F CFA auprès du Leader-Bénéficiaire. Le lendemain du 113e jour chaque bénéficiaire recevra du Leader-Bénéficiaire le montant de son épargne soit 25.000 F CFA.

A la fin de la 4e phase bouclant une période totale 339 jours (soit 113 jours x3= 339 jours soit 11 mois 9 jours) chaque bénéficiaire disposera un montant total de 60.000 F CFA qui se décompose comme suit:

⁵ Soit 20 \$ US avec un taux d'échange nominal estimé à 1 \$ US pour 500 F CFA.

⁶ Les 3mois 23 jours incluent en réalité le nombre de les jours de repos qu'on dénombre en 100 jours.

C'est cela qui explique le choix de la période de 3 mois 23 jours. Cette période inclus les 13 jours de repos que la période peut comporter.

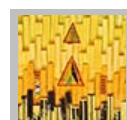


Tableau 1: récapitulatif des montants générés suite aux jeux capital-épargne.

Phases	Libellés	Montants
1^e phase	Apport du Bailleur à la 1 ^{ère} phase	10.000 F CFA
2^e phase	Epargne effectuée à la 2 ^e phase	10.000 F CFA
3^e phase	Epargne effectuée à la 3 ^e phase	15.000 F CFA
4^e phase	Epargne effectuée à la 4 ^e phase	25.000 F CFA
TOTAL		60.000 F CFA

Source : auteurs.

C'est à la fin de cette phase que le bailleur retire son apport initial de 10.000 F CFA par bénéficiaire et laisse à la disposition de chaque bénéficiaire un capital de 50.000 F CFA. C'est avec ce capital que la 5^e phase du processus débute.

5^e phase : nouveau départ sans le soutien du bailleur

A partir de cette phase la période d'épargne auprès du Leader-Bénéficiaire est réduite. Elle sera fixée à 68 jours (soit 2 mois 8 jours). Le versement journalier (sauf les jours de repos) sera fixé à 350 F CFA. Ces différents versements feront une épargne de 21.000 F CFA qui sera versé par ce dernier au lendemain de la date butoir à chaque bénéficiaire. Ce montant viendra en sus des 50.000 F CFA pour donner une valeur acquise (VA) de 71.000 F CFA. Cette valeur acquise sera introduite pour la 7^e phase.

6^e phase : la maturité en ligne de mire

Cette phase débute avec une valeur acquise de 71.000 F CFA. Le Leader-Bénéficiaire recevra de chaque bénéficiaire un versement quotidien (sauf les jours de repos) de 500 FCFA sur une période de 68 jours (soit 2 mois 8 jours). A la date butoir des 68 jours le Leader-Bénéficiaire restituera à chaque Bénéficiaire une somme 30.000 F CFA qui viendra augmenter le capital de départ de la présente phase. A la fin de la 7^e phase chaque Bénéficiaire aura une valeur acquise (VA) de 101.000 F CFA.

7^e phase : la dernière...

Au début de cette phase la relation entre les Bénéficiaires et Le Leader-Bénéficiaire prendra fin. Cette relation est remplacée par la nouvelle relation Bénéficiaire – Caisse de microfinance. Ce qui se caractérisera par le déplacement de chaque bénéficiaire vers les institutions de microfinance classique.

Il est à noter que durant toutes les sept (7) phases présentées le Leader-Bénéficiaire en plus de son propre versement injecte ceux des autres bénéficiaires dans son propre circuit commercial au jour le jour jusqu'aux différentes dates butoir.

Les différents versements des bénéficiaires sont enregistrés dans des tableaux dont des exemplaires sont présentés dans les annexes.

V. PRESENTATION DE L'ETUDE DE CAS

Cette rubrique présente les contenus pertinents des observations dans l'implémentation de la méthodologie présentée supra à travers une étude de cas.

1.1 Présentation succincte de la zone d'étude

L'implémentation de la présentation théorique présentée supra fut effectuée à Sabalibougou. Sabalibougou est un quartier populaire périphérique de la capitale du Mali (Bamako). Ce quartier est rattaché administrativement à la commune V du district de Bamako. Le quartier de Sabalibougou s'étend sur une superficie de 4,5 km² du sud de la commune au centre. La population du quartier fut estimée à 71.405 habitants en 2009. La population de Sabalibougou représente environ 24% de la population de la commune V. Le taux d'accroissement de la population est de 1,071% (17).

Les activités économiques des populations de la commune V sont essentiellement basées sur le petit commerce, la pêche, l'agriculture (maraîchage), l'élevage et l'artisanat (18).

1.2 Les observations effectuées

Les observations furent scindées en sept (07) phases distinctes. Elles commencent par l'apport du bailleur (première phase) et elles terminent par l'adhésion des participants (bénéficiaires) aux structures de caisses d'épargnes de microfinance.

Première phase : l'apport initial du bailleur

Nous avons mis en œuvre le processus théorique présenté supra dans un contexte restreint à SABALIBOUGOU. Nos observations furent étalées sur la période du 20 mai 2014 au 12 août 2015 (soit 450 jours) Cette recherche de faible envergure a impliqué en tout, 6 bénéficiaires ou unités ou participants suivis par un chercheur. Les bénéficiaires furent financés le chercheur lui – même. Le chercheur a joué le rôle du bailleur en finançant les bénéficiaires sur fonds propres.

Le tableau suivant présente les participants à l'étude à savoir le Leader-Bénéficiaire (LB) et les autres bénéficiaires (B) en précisant les activités économiques principales effectuées par chacun d'eux. Les symboles LB et B précédés de chiffres servent à coder les identités des bénéficiaires afin de préserver leurs anonymats.

Tableau 2: Présentation succincte des bénéficiaires

Codes Bénéficiaires	Activité économique principale du bénéficiaire
1LB	Vente de céréales
2B	Vente de condiments



3B	Vente de dentifrices et autres
4B	Vente et fruits et légumes
5B	Vente d'objet usagés et ustensiles de cuisine
6B	Vente de charbon de bois et de sacs vides de ciments

Source : auteurs

Le choix de ces bénéficiaires par le Leader-Bénéficiaire s'est opéré sur la base des critères d'éligibilité établis supra. Critères auxquels le Leader-bénéficiaire se fut conformé afin de recommander ces différents bénéficiaires au bailleur. Les chiffres 1 à 6 présents dans la colonne « Codes Bénéficiaires » sont donnés pour codifier les identités des bénéficiaires.

Deuxième phase: du 20/05/2014 au 09/09/2014 Durée de la phase=113 jours

Les bénéficiaires ont fait leurs dépôts respectifs journaliers auprès du Leader-Bénéficiaire durant toute la période indiquée. Le lendemain du 113^e jour, une rencontre d'évaluation a eu lieu sous le hangar du Leader-Bénéficiaire. A cette rencontre ont participé le Leader-Bénéficiaire et les deux (2) premiers bénéficiaires de l'apport du bailleur et le bailleur (chercheur) lui-même.

Après décompte des jours d'épargne à partir du cahier prévu pour cette fin, il y a eu pour le bénéficiaire 2B 8 jours manquants et pour le bénéficiaire 3B 4 jours. Les bénéficiaires ont estimé avoir fait leurs dépôts auprès du Leader-Bénéficiaire. Ce dernier n'ayant pas réfuté catégoriquement cet état de chose à signaler que les bénéficiaires aussi n'ont pas pris peut-être le temps d'attendre que les cases correspondantes soient cochées comme la procédure le prévoyait.

A la suite de ces remarques il a été convenu entre les bénéficiaires de toujours demander au Leader-Bénéficiaire de cocher les cases indiquées en leur présence.

Pour cette première phase aucun bénéficiaire n'a signalé quoi que ce soit allant dans le sens d'une quelconque impossibilité de versement du montant journalier.

A la fin de cette rencontre le Bailleur a décidé d'intégrer de nouveaux bénéficiaires dans le but d'augmenter le nombre de bénéficiaires. Trois nouveaux bénéficiaires furent intégrés à savoir les bénéficiaires 4B, 5B et 6B. Ces Bénéficiaires ont été proposés par le Leader-Bénéficiaire parmi 4 prétendants.

Troisième phase: du 10/09/2014 au 01/01/2015 Durée de la phase=113 jours

Lors du compte rendu de cette fin de phase (tenu le 1^{er} /01/2015) le Bénéficiaire 3B a décidé de se retirer

du processus. Elle a évoqué le ralentissement de son activité commerciale au cours de la période.

Après avoir fait les comptes elle a remboursé l'apport initial octroyé par le Bailleur au départ soit 10000 FCFA.

C'est au Cours de ce compte rendu (tenu le 1^{er} /01/2015) que le bénéficiaire 6B après avoir signalé qu'elle ne rencontre pas de difficulté dans le versement de son épargne journalière demande une augmentation de son Capital initial de 10000 FCFA pour le ramener à 20000 FCFA. Ce qui fut accepté par le Bailleur qui lui a octroyé le capital initial donné au bénéficiaire 3B sorti du processus.

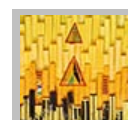
A la suite du bénéficiaire 6B, les bénéficiaires ont de manière unanime (excepté 2B) soutenu que le capital initial de 10000 FCFA par bénéficiaire était petit. Ils ont précisé qu'avec un capital initial de 20000 FCFA c'est mieux compte tenu de leurs domaines d'activités respectives.

Par contre pour le bénéficiaire 2B l'apport initial de 10000 octroyé par le Bailleur fut considéré comme suffisant compte tenu de son secteur et niveau d'activité. C'est au cours du présent compte rendu que les bénéficiaires ont décidé de la suppression des 13 jours de repos; parce qu'ils estiment qu'ils peuvent épargner sur les 7 jours. Et cela a ramené la durée à 100 jours au lieu de 113 jours. Car d'après eux-mêmes, ils n'observent pas de jour de repos (sauf pour des cas de maladies). Le bailleur a accepté le principe des 100 jours n'incluant aucun jour de repos.

Quatrième phase d'observation: du 02/01/2015 au 11/04/2015 Durée de la phase=100 jours

Le compte rendu s'est passé le 11/04/2015 toujours au lieu de vente du Leader-Bénéficiaire en présence de tous les acteurs (Bailleur et Bénéficiaires). Après avoir versé les épargnes de chaque Bénéficiaire, le Leader-Bénéficiaire demande de sursoir momentanément au processus. Il évoque les insuffisances du mode de pointage des épargnes effectuées à son niveau par les autres bénéficiaires. Ce qui de son avis commence à créer des frustrations. Et il demande au Bailleur de songer à mettre en place un nouveau mode de pointage à partie double afin d'éviter de telles situations. Et une fois ce système mis en œuvre le processus peut redémarrer. Idée que le bailleur acquiesça et le processus fut ainsi arrêté à ce stade et les différents bénéficiaires ont restitué les capitaux initiaux que le Bailleur leur avait octroyés.

C'est au cours de cette rencontre que chaque bénéficiaire a remboursé l'apport initial qui lui avait été fait au début du processus soit 10.000 F CFA pour les bénéficiaires 1B, 2B, 4B, et 5B. Pour le bénéficiaire 6B ce fut 20.000 F CFA. Le total de remboursement fut de 60.000 F CFA.



Cinquième phase: du 15/04/2015 au 13/06/2015
Durée de la phase=60 jours

La mise en place de la technique de pointage à partie double fut implémentée. Une feuille pour le Leader-Bénéficiaire et une par bénéficiaire. Cette phase fut entamée sans l'apport initial du bailleur pour chaque bénéficiaire.

Au compte rendu de période tenu le 13/06/2015, le Leader-Bénéficiaire a restitué à chaque bénéficiaire l'équivalent de son épargne. Versements faits après confrontation des feuilles de pointage des versements. Il n'y a eu aucune plainte relative à des manques. Il est à noter que sur les 60 jours d'épargne les bénéficiaires 2B, 4B et 5B ont épargné respectivement sur 55 jours, 57 jours et 58 jours. Les raisons évoquées vont de la maladie à l'oubli en passant par les déplacements (voyages) de courts séjours.

Sixième phase: du 14/06/2015 au 12/08/2015
Durée de la phase=60 jours

Les bénéficiaires ont continué à faire les versements journaliers auprès du Leader-Bénéficiaire. Il faut noter la défection du bénéficiaire 4B à la fin de cette phase. Elle a estimé qu'elle ne pouvait plus continuer à suivre le processus à cause du ralentissement de ses activités économiques.

Le jour du compte rendu, le Leader-Bénéficiaire a restitué les avoirs de chaque bénéficiaire sur la base des cases cochées de part et d'autre. Aucun autre désagrément ne fut signalé au cours de ce compte rendu.

Septième phase : intégration du secteur financier formel

Courant cette phase aucun versement n'est fait auprès du Leader-Bénéficiaire. Par contre cette phase la plus courte de toutes les phases permet aux bénéficiaires d'intégrer l'institution de microfinance de leur choix et cela de manière volontaire afin de pouvoir bénéficier des avantages que proposent ces institutions.

Les bénéficiaires ayant participé et terminé tout le processus d'observations furent : 1LB, 2B, 5B et 6B. Chacun d'eux était libre d'intégrer l'institution de microfinance de leur choix. Il est à signaler que seuls les bénéficiaires 1LB, 2B et 6B ont intégré des caisses de microfinance de leurs choix.

Après discussion avec le bénéficiaire 5B, il a estimé qu'il n'a pas assez de confiance dans ces institutions financières d'une manière générale et en particulier les institutions de microfinance.

VI. PRESENTATION DES RESULTATS

Dans la présente rubrique sont présentés les principaux résultats issus de nos observations à la fin des sept phases. Cette présentation se focalise sur les trois (3) éléments suivants : la fréquence de versement, les montants versés (épargnés) et l'intégration de la microfinance.

Les résultats obtenus par bénéficiaires sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3: présentation de la situation individuelle par bénéficiaires.

Code Bénéficiaire	Activités commerciales principales	Nombre Jours	Epargne Espérée (EE)	Nombre Jours Effectués	Montants Epargnés (ME)	Ecart=E-E-ME
1LB	Vente de céréales	420	101000	420	101000	0
2B	Vente de condiments	420	101000	410	96950	-4050
3B	Vente de dentifrices et autres	420	25000	202	25500	500
4B	Vente de fruits et légumes	320	91000	316	89800	-1200
5B	Vente d'ustensiles de cuisine	320	91000	311	88050	-2950
6B	Vente de charbon de bois	320	91000	324	92500	1500
TOTAUX			500000		493800	-6200

Source : issus des observations.



Les résultats du tableau 4 permettent de dégager les constats sur les points suivants : la fréquence de versement, les montants versés et l'intégration de la microfinance.

La fréquence de versement : Sur le plan du nombre de jours de versement réellement effectué 33% des bénéficiaires ont au moins atteint le nombre de jours de versement requis et présenté comme objectif à atteindre dès le départ des observations. Les bénéficiaires qui ont terminé le processus d'épargne auprès du Leader-Bénéficiaire soit 66,66% n'ont pas fait de versement 8 jours en moyenne durant toute la période de versement prescrite. Il faut quand même noter que 33% des bénéficiaires se sont retirés du processus d'observation entre la 3^e phase et la 6^e.

Les montants versés : Les résultats financiers obtenus sont spectaculaires. Le total des apports du bailleur auprès des bénéficiaires est de 60.000 F CFA (soit 120 \$). A la fin des observations, la valeur totale acquise par cet apport fut de 553.800 F CFA (soit 1107,6 \$ US). Ce qui a permis d'avoir des intérêts produits évalués à 493.800 F CFA (soit 987,6 \$ US). Sur cette période le taux moyen permettant d'obtenir cet intérêt total est estimé à 826,12%. L'écart entre le montant des versements espérés et celui des versements effectivement réalisé est de -6200 F CFA (soit 12, 6 \$ US). Cet écart représente 1,24% du montant total qui devrait être versé durant toute la période du processus d'observations.

L'intégration de la microfinance : trois (3) bénéficiaires sur 6 (soit 50%) des bénéficiaires ont intégré les caisses de microfinance de leur choix.

VII. CONCLUSIONS ET LIMITES

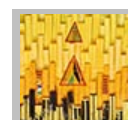
L'inclusion financière permet aux pauvres d'accéder aux ressources financières pour leur épanouissement. Ces pauvres le plus souvent sont frappés par la faiblesse de revenu. Cet état de fait les empêche d'accéder généralement aux institutions financières formelles. Une catégorie des pauvres que nous avons appelée dans ce papier « les oubliés » de l'inclusion financière mènent diverses activités commerciales informelles allant de la vente de fruits et légumes en passant par les céréales sèches et les charbons de bois etc. n'arrivent pas à s'insérer dans le secteur financier formel malgré le fait qu'ils mènent des activités commerciales quotidiennement. Nous avons constaté à travers notre étude de cas qu'une nouvelle approche d'aide orientée vers ces « oubliés » ayant comme finalités le renforcement de leurs revenus ainsi que leur intégration des institutions de microfinance de leurs choix peut permettre à une partie non moins importante de ces « oubliés » à s'insérer dans le système financier formel. Cette étude de cas a permis à trois (03) participants à l'étude sur six (06) (soit 50%) d'intégrer les institutions de microfinance de

leurs choix après avoir enregistré tout au long du processus une augmentation significative de leurs revenus respectifs. Par contre deux des participants n'ont pas se sont retirés du processus avant sa fin. Tandis qu'un participant après avoir fini le processus n'a pas voulu s'affilier à une caisse de microfinance pour manque de confiance dans ce type d'institutions financière.

Même si nos résultats sont probants à première vue, néanmoins notre recherche présente des limites. Parmi celles-ci nous signalons le nombre assez faible de participants. Cela est dû au financement sur fonds propre de la recherche. Une autre limite est l'impasse faite dans le papier sur l'estimation de l'impact des versements effectués par les bénéficiaires auprès du Leader-Bénéficiaire que ce dernier utilise au jour le jour dans ses propres activités commerciales. Nous n'avons pas pu préciser le nombre optimal de bénéficiaires pouvant être reliés au Leader-Bénéficiaire.

BIBLIOGRAPHIES

1. Introduction de la microfinance à l'inclusion financière. Labie, Marc et Montalieu, Thierry. 2019, Deboeck Supérieur "Mondes en développement", pp. 7-12.
2. Demirgüç-Kunt, Asli, et al., et al. The global Findex database 2017 Measuring Financial Inclusion and the Fintech revolution. Washington, DC : World Bank Group, 2018.
3. BCEAO. Rapport annuel sur la situation de l'inclusion financière dans l'UEMOA au cours de l'année 2017. Dakar : IMPRIMERIE BCEAO, 2018. p. 29.
4. INSTAT Mali. Comptes économiques du Mali 1999-2013. Bamako, Mali : s.n., Août 2015.
5. Lelart, Michel. La tontine pratique informelle d'épargne et de crédit dans les pays en voie de développement. Paris : Louis-Jean, 1990.
6. Financial inclusion and development. Mandira, Sarma et Pais, Jesim. 2011, Journal of International Development, Vol. 23, pp. 613-628.
7. Financial Inclusion and Financial Sector Stability With Reference To Kenya: A Review of Literature. Aduda, Josiah et Kalunda, Elizabeth. 6, 2012, Journal of Applied Finance & Banking, Vol. 2, pp. 95-120.
8. Demirgüç-Kunt, Asli et Levine, Ross. Finance and Inequality Theory and Evidence. Policy Research Working Paper 4967. Washington DC : Banque Mondiale, Juin 2009.
9. Microfinance and the challenge of financial inclusion for development. Ghosh, Jayati.



Septembre 2013 2013, Cambridge Journal of Economics, Vol. 37, pp. 1203-1219.

10. Financial Inclusion and Economic Growth in Nigeria. Babajide, A. Abiola, Adegboye, B. Folasade et Omankhanlen, E Alexander. 3, 2015, International Journal of Economics and Financial Issues, Vol. 5, pp. 629-637.

11. Measuring financial inclusion: Explaining variation in use of financial services across and within country. Demirgüç-Kunt, Asli et Klapper, Leora. Washington : Brookings Institution Press, 2013, Brookings Papers on Economic Activity, pp. 279-340.

12. Laha, Arindam et Kuri, Kumar Pravat. DETERMINANTS OF FINANCIAL INCLUSION: A STUDY OF SOME SELECTED DISTRICTS OF WEST BENGAL, INDIA. works.bepress. [En ligne] 2011. https://works.bepress.com/arindam_laha/4/.

13. Demirgüç-Kunt, Asli et Klapper, Leora. Financial Inclusion in Africa An Overview . Policy Research Working Paper 6088. Washington , Etats-unis : s.n., Juin 2012.

14. Sinclair, Stephen, et al., et al. Understanding financial inclusion. Glasgow : Hobbs the Printers Ltd, 2009.

15. The African Financial Development and Financial Inclusion Gaps. Allen, Franklin, et al., et al. 25 Juin 2014, Journal of African Economies, pp. 614-642.

16. The Determinants of Financial Inclusion in Western Africa: Insights from Ghana. Akudugu, Mamudu Abunga. 8, 2013, Research Journal of Finance and Accounting, Vol. IV, pp. 1-11.

17. INSTAT Mali. 4ème Recensement Général de la Population et de l'Habitat du Mali (RGPH): résultats définitifs Tome 0. Répertoire des villages. Bamako : INSTAT, 2013 .

18. Mairie de la commune V du District de Bamako. Les élus locaux dans la gestion des antagonismes économiques et sociaux . Document de travail. Bamako, Mali : s.n., Mars 2012.

19. Les tontines favorisent-elles la performance des entreprises au Cameroun ? Rozas Tello, Sonia et Gauthier, Bernard. 1, Bruxelles : s.n., 2012, Revue d'économie du développement, Vol. 26, pp. 5-39.

20. ONEF Mali. Enquête nationale sur l'emploi auprès des ménages (ENEM 2017). Bamako : s.n., 2017.

21. L'offre alimentaire dans les établissements scolaires du quartier de Sabalibougou en commune V du district de Bamako. Cissé, Dioumé, et al., et al. 2, 2015, MALI MEDICAL, Vol. XXX, pp. 1-7.

22. Triki, Thouraya et Faye, Issa. Financial Inclusion in Africa . Tunis Belvédère : s.n., 2013. Ce rapport fut commandité African Development Bank Group (AfDB) .

23. Financial Inclusion: Issues and Challenges. Dev, S. Mahendra. 41, : s.n., 14-20 10 2006, Economic and Political Weekly, Vol. 41, pp. 4310-4313.



ANNEXES

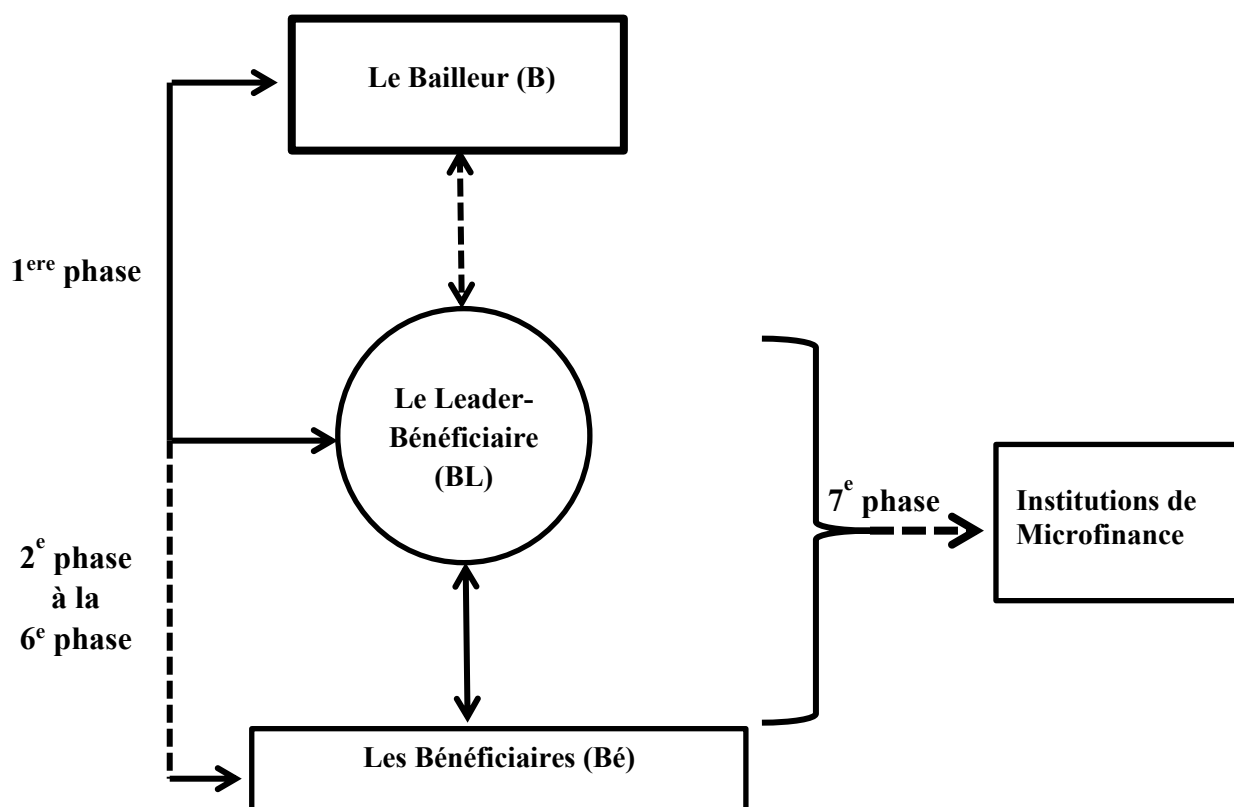


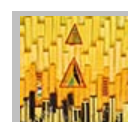
Figure 1 : représentation simplifiée des relations entre les acteurs du modèle

Nom et prénom du bénéficiaire :

Date début :

Date fin :

Figure 2 : exemple de fiche d'enregistrement des versements pour 100 jours.



Le contrôleur de gestion à l'aune de Big Data

Madian dit Tiéman Diarra¹, Djibril Diarra² et Aboubacar Kaba³

¹ Institut d'Economie Rurale, Bamako, Mali

² Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako, Institut Universitaire de Développement Territorial, Bamako, Mali

³ Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako

Email : mtdiarra@gmail.com

RESUME : Le contrôle de gestion d'une organisation ou entreprise est un métier autour duquel gravitent la collecte et l'analyse de données. Les acteurs de ce métier, en occurrences les contrôleurs de gestion, sont des véritables pilotes dans l'entreprise parce qu'ils participent activement à la prise des décisions stratégiques. De ce fait, ils doivent être munis d'outils technologiques appropriés pouvant faciliter leurs missions. Cet article présente les facettes de ce métier à l'ère des technologies émergentes comme les Big Data et les avantages que ces dernières peuvent apporter aux contrôleurs de gestion et aux managers.

Mots clés : Contrôle de gestion, Big Data, Intégration de données, Informatique décisionnelle.

ABSTRACT: The control of management in an organisation or entreprise is a function supported by data collect and data analysis. The management controllers are then real drivers in the entreprise, because they participate actively in the strategic decision taken process. By that way, they must have appropriate technologies tools in order the ease their work. In this article, we introduce the faces of that function in the era of emergent technologies such as Big Data as well as the advantages that these last could bring to the management controllers and the managers.

Keywords: Control of Management, Big Data, Data Integration, Decision support system.

I. INTRODUCTION

Le contrôle de gestion d'une organisation/société/entreprise consiste à examiner la manière dont celle-ci et ses activités sont gérées structurées, effectuées et administrées [1]. C'est un métier autour duquel gravitent la collecte et l'analyse de données. Cependant, contrairement à ce que sous-entend son intitulé, un contrôleur de gestion ne se limite pas au contrôle. C'est un véritable pilote de l'organisation [2].

À ce titre, le contrôleur de gestion est une pièce maîtresse dans le développement de stratégies de pilotage efficace pour une croissance économique durable dans l'entreprise. Pour ce faire, il empile des données provenant de différents services de l'entreprise. Le contrôleur de gestion épure celles-ci, les analyse à de fins diverses : la recherche d'un phénomène économique et/ou financier, l'évaluation de performance du modèle économique ou de la stratégie de publicité de l'entreprise, etc [3]. Ces données dont certaines sont externes à l'entreprise, sont généralement collectées et stockées dans des outils techniques qui ne favorisent pas toujours l'intégration. Entre autres nous pouvons citer des feuilles Excel (ou assimilés), les bases de données

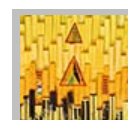
relationnelles et les papiers durs. L'utilisation de ces outils suscite, à un niveau, certains problèmes. Par exemple, une fois que les feuilles Excel sont nombreuses, elles deviennent inflexibles. L'analyse des données, qu'elles contiennent, deviennent ainsi fastidieuse et leur visualisation inopportune. Les bases de données relationnelles fonctionnent très souvent en silos entre différents services intra ou inter-entreprises. Les opérations de recherche et de modification avec les papiers durs sont longues et pénibles.

Face à ces inadéquations entre les outils techniques actuels du contrôleur de gestion et ses importantes et grandissantes missions, il convient mieux de lui doter de nouvelles technologies émergentes pouvant lui permettre de répondre convenablement aux attentes placées en lui.

Cette ébauche vise à mettre en lumière les enjeux de l'utilisation de telles technologies dans le contrôle de gestion. En l'occurrence, nous nous focaliserons sur les Big Data. Ce choix est justifié par le fait que ces dernières s'appuient sur la plupart des autres technologies émergences telles que le cloud computing¹, l'apprentissage automatique (machine learning).

¹Le cloud computing : Pour simplifier, le cloud computing est la fourniture de services informatiques (notamment des serveurs, du stockage, des bases de données, la gestion réseau, des logiciels, des outils d'analyse, l'intelligence artificielle) via Internet (le cloud) dans le but d'offrir une innovation plus rapide, des ressources flexibles

et des économies d'échelle. En règle générale, vous payez uniquement les services cloud que vous utilisez (réduisant ainsi vos coûts d'exploitation), gérez votre infrastructure plus efficacement et adaptez l'échelle des services en fonction des besoins de votre entreprise [8].



En outre, les caractéristiques « volume, diversité, valeur et la rapidité d'évolution » des données manipulées par les acteurs de ce métier nous font croire que les technologies Big Data sont adéquates pour mieux les traiter.

Dans un premier temps, nous présenterons les fondamentaux des Big Data. Ensuite, nous détaillerons les impacts de l'utilisation de ces dernières dans le contrôle de gestion.

II. BIG DATA, QU'EST-CE QUE C'EST ?

La définition des Big Data dépend de l'environnement qui fournit celle-ci. De ce fait, une définition pour les petites et moyennes entreprises est différente de celle considérée par les grandes [4]. Cependant, bien qu'il n'existe pas de définition standard pour ces technologies émergentes, elles sont caractérisées généralement par le concept des trois (3) « V » (le Volume, la Variété, la Vitesse) des données manipulées. Ces 3V sont récemment augmentés et renforcés par deux autres qui sont la Valeur et la Véracité des données [5]. Les Big Data désignent aussi les méthodes et les infrastructures matérielles permettant de traiter adéquatement ces données volumineuses, variées, rapides, précieuses et vraies.

Le volume des données désigne leur quantité gigantesque. La variété définit leur diversité en nature et en structure (ou la manière de les organiser). La vitesse indique la vitesse de changement des données. La valeur fait référence à la qualité des données. Enfin, la véracité fait référence à la provenance des données qui est censée être fiable et vraie.

Dans une entreprise ou une administration, le contrôleur de gestion s'appuie sur les données enregistrées et/ou générées par les systèmes d'information disponibles au sein de sa structure pour bien effectuer ses missions. Quelques exemples de ces systèmes sont les ERP (les Planification de Ressources de l'Entreprise ou Entreprise Ressources Planning, en anglais) et les CRM (Gestion des Relations Clientes ou Customer Relations Management). Ces systèmes ne sont pas toujours interopérables et peuvent ainsi favoriser l'indisponibilité des données. Ce qui est préjudiciable aux attentes placées au contrôleur de gestion. En effet, en tant qu'acteur majeur dans la prise de décision stratégique pour la croissance de l'entreprise, le contrôleur de gestion doit effectuer rapidement des analyses poussées sur les données extraites des systèmes cités ci-dessus afin de trouver des indicateurs appropriés en fonction des situations [3]. De ce fait, son travail ne se limite pas seulement à une analyse des situations passées. Il doit également anticiper certains phénomènes.

III. CONTROLE DE GESTION : ANALYSES DE FAITS PASSES OU PREDICTION DE SITUATIONS FUTURES

La fonction du contrôleur est généralement considérée comme devant aider les managers dans leur prise de décision et faciliter le processus de gestion. Ces deux dimensions de la fonction ne sont pas toujours simples à concilier, mais elles constituent le cœur du travail des contrôleurs de gestion [3]. Concrètement, cela implique de calculer et d'analyser les coûts, la rentabilité, de proposer des outils pour mesurer la performance, d'organiser la production des reportings et des budgets [3,4]. Les contrôleurs sont ainsi aujourd'hui au cœur du système d'information de l'entreprise.

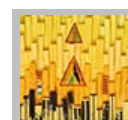
Certaines des tâches effectuées par le contrôleur sont répétitives et parfois fastidieuses. Les modèles de prédiction mis à disposition par les technologies émergentes permettent de réduire ces répétitions [6]. Ainsi, le contrôleur peut se concentrer sur d'autres tâches à forte valeur ajoutée telles que la surveillance des opérations qui se font chez les concurrents par exemple (encore appelé benchmark en anglais), l'optimisation des budgets. Les Big Data sont des exemples de ces technologies émergentes. Les enjeux de leurs utilisations dans le contrôle de gestion sont évoqués dans la section suivante.

IV. BIG DATA DANS LE CONTROLE DE GESTION

Grâce aux techniques de planification et de développement de systèmes, et aux algorithmes de parallélisme et d'apprentissage automatique sur lesquels les systèmes Big Data s'appuient, ils sont aptes et efficaces dans le traitement des données volumineuses et variées. À ce titre, ils sont appropriés pour l'analyse prédictive [7]. Cette dernière pourrait impacter positivement les missions du contrôleur de gestion à plusieurs niveaux. Nous pouvons citer entre autres :

- la surveillance continue des systèmes ;
- l'anticipation et la résolution des erreurs ou des anomalies en temps réel ;
- la fidélisation des clients grâce à l'anticipation de leurs causes de réticence ;
- la proposition et la conception de nouveaux services pourvoyeurs de valeur ajoutée à l'entreprise. Ce dernier point crée une nuance entre le contrôleur de gestion et les Data scientistes. Il est à la base du succès grandissant des géants du Web tel que LinkedIn [7].

Malgré tous ces avantages que les systèmes Big Data peuvent apporter dans le contrôle de gestion, ils restent très méconnus des acteurs de ce secteur important pour toute entreprise et administration. Cette méconnaissance s'explique principalement par deux points. Le premier est le manque d'intérêt du secteur pour les innovations technologiques. En



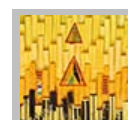
effet, les acteurs du secteur sont très concentrés sur les pratiques classiques dans lesquelles ils se trouvent plus légitimes [4]. Le second est que l'adoption d'outils informatiques émergents et à forte valeur ajoutée nécessite une certaine reconversion du contrôleur de gestion. Idéalement, il devrait apprendre de nouvelles compétences et travailler en étroite collaboration des spécialistes.

V. CONCLUSION

Le développement économique et structurel de toute entreprise ou administration publique dépend fortement de son système d'information et du contrôle de gestion de ses processus métiers. Ceux-ci fournissent aux managers des possibilités de prendre des décisions appropriées favorisant ce développement. Cet article visait à explorer les enjeux de l'utilisation des technologies émergentes, en occurrence les Big Data, dans le métier « contrôle de gestion ». Nous avons défini ces technologies à travers quelques-unes de leurs caractéristiques, notamment les 5V des Big Data. Nous avons également présenté quelques avantages et les difficultés de l'utilisation de ces dernières dans le contrôle de gestion.

REFERENCES

- [1] B. Solution, 5 manières dont la BI aide le contrôle de gestion à atteindre ses objectifs au quotidien, Avril 2019. (2019). <https://www.solution-bi.com/5-manieres-dont-la-bi-aide-le-contrôle-de-gestion/>.
- [2] Maxime, BIG DATA – MUTATION DU CONTRÔLE DE GESTION, Février 2019. (2019). <https://contrôle2gestion.net/big-data-mutation-du-contrôle-de-gestion/>.
- [3] S. Sponem, Une « société du contrôle » sans contrôle de gestion ?, Faire Sens l'évaluation Le Cas Du Contrôle Gest. 14 (2018) 103–115.
- [4] A. Caillemer, D.U. Ferrage, C. Gavalda, J. Ghestin, N. York, L'impact de la résolution sur le netting, (2013) 1–8.
- [5] P. Lemberger, M. Batty, M. Morel, J.-L. Raffaëlli, M. Delattre, Big data et machine learning : manuel du data scientist, Dunod, 2015.
- [6] R. Manita, N. Elommal, P. Baudier, L. Hikkerova, The digital transformation of external audit and its impact on corporate governance, Technol. Forecast. Soc. Change. 150 (2019) 1–10. doi:10.1016/j.techfore.2019.119751.
- [7] P. LEMBERGER, B. Marc, M. Médéric, R. Jean-Luc, Big Data et Machine Learning, Dunod, 2015.
- [8] M. Azure, Qu'est-ce que le cloud computing ? Le Guide du débutant, Microsoft Azur. (2018). <https://azure.microsoft.com/fr-fr/overview/what-is-cloud-computing/>.



Optimisation de la collecte des déchets de Bamako par l'algorithme de recherche Tabou

Souleymane Ouattara¹ Dantouma Kamissoko² and Diby Diarra³

¹Centre de Recherche et de Formation pour l'Industrie Textile

²Université de Ségou

³Université des sciences de Techniques et des Technologies de Bamako

Email : wattosouley@gmail.com; Dan.kamiss@yahoo.fr; dibdiarra@gmail.com

RESUME: Le problème de collecte des déchets fait partis des problèmes d'optimisation de tournées de véhicules pour satisfaire les besoins de transport des biens entre les fournisseurs et les clients. Il consiste à concevoir un ensemble de tournées, partant et revenant d'un même dépôt et en passant par un ensemble de points de collecte des déchets (nommés clients ou nœuds) prédéfinis. Nous proposons une approche basée sur la recherche taboue permettant de minimiser le coût total de transport qui est proportionnelle à la distance totale. Nous avons ensuite testé l'efficacité de l'algorithme sous le solveur Matlab R2014a et comparer ce résultat avec les données actuelles d'Ozone Mali.

Keywords: collecte de dechêt, problèmes de tournées de véhicules, recherché tabou

I. INTRODUCTION

L'intérêt pour le secteur des déchets continue de croître et devient un problème environnemental, économique et social, directement lié aux modes de consommation et à la société en général pour tous et en particulier à la mairie de Bamako, chargée de la collecte des déchets et du transport. Le domaine de la collecte des déchets est très vaste, c'est pourquoi nous nous appuyons sur les données réelles d'Ozone Mali pour pouvoir travailler sur des problèmes réels [1] et avoir une application concrète à notre étude. Nous nous intéressons à la partie logistique et plus spécifiquement à la collecte et au transport des déchets des dépôts de transit vers le dépôt de Noumoubougou situé à 60 km de Bamako. Le problème étudié appartient à la famille des problèmes de tournées de véhicules (VRP) [2], qui sont des extensions du problème du voyageur de commerce (TSP) [3]

L'objectif de la résolution VRP est de concevoir un ensemble de routes, commençant et revenant du même référentiel et passant par un ensemble de points (souvent nommés clients) prédéfinis. Chaque point de passage doit être visité mais chacun ne sera visité que par une seule visite. Le critère d'optimisation concerne généralement la distance totale parcourue par les véhicules. Le critère d'optimisation concerne généralement la distance totale parcourue par les véhicules, mais d'autres critères peuvent également être remplis.

Dans cet article, nous prenons en compte l'aspect temporel du VRP, appelé le problème VRPTW. Les fenêtres temporelles du problème de routage des véhicules sont un problème d'optimisation combinatoire difficile.

Le problème de base est celui du VRP auquel s'ajoute une contrainte sur le planning de passage à certains nœuds. Ces contraintes de temps traduisent des limites sur la date d'arrivée au plus tôt et la date

de début au plus tard sur certains nœuds du réseau. Cette extension représente de nombreux cas concrets de gestion des circuits en véhicule.

Dans la littérature, ce problème est traité de deux manières, soit en considérant que les fenêtres temporelles sont strictes et doivent donc être absolument respectées, soit en considérant que les fenêtres temporelles sont flexibles et ne peuvent donc pas être respectées. Les pénalités de retard sont généralement associées à la fonction de coût, ce qui se traduit par le non-respect de ces fenêtres. Dans le problème étudié ici, nous considérons que les fenêtres temporelles sont flexibles. L'objectif principal du problème étudié est de minimiser la distance totale parcourue par les véhicules. Nous utilisons la méthode de recherche tabou dans ce travail pour résoudre le problème de la collecte des ordures à Bamako, qui est un problème de tour de véhicule avec des fenêtres de temps. Cet article est divisé en cinq parties, la première partie est consacrée à l'introduction et à la revue littéraire, et la deuxième partie de l'article est consacrée à la présentation du problème de la collection. Nous présentons le modèle mathématique pour minimiser le coût de transport de la collecte des déchets, puis la méthode de résolution basée sur la recherche tabou adaptée au problème a été présentée. Nous avons testé notre algorithme avec le solveur Matlab R2014a pour voir l'efficacité du programme, et enfin l'article se termine par une conclusion.

II. STATE OF THE ART

La problématique d'optimisation de collecte des déchets est apparue en recherche depuis quelques années, notamment avec l'émergence de la prise en compte de contraintes environnementales. Les différents travaux existant visent à permettre aux organismes en charge de cette gestion d'en limiter les coûts tout en garantissant une bonne qualité de



service et tout en limitant les impacts environnementaux.

La problématique d'optimisation de la collecte des déchets est assez récente mais a déjà suscité de nombreuses études [4]. La plupart des articles de la littérature portent sur un problème réel et vise une application concrète à mettre en place au bout de l'étude. Ils ont un grand intérêt pratique pour la mise en œuvre, mais comportent souvent des spécificités qui sont propres à chaque problème étudié. Les études se basent sur deux types de modélisation : celle basée sur le VRP ou celle basée sur le CARP. S'il semble plus naturel de modéliser la collecte des déchets ménagers en utilisant un graphe de type CARP (puisque la collecte en porte à porte se fait souvent sur une rue). Cette modélisation a été moins développée au profit d'une modélisation plus agrégée de type VRP, qui dans les faits se révèle plus pratique et plus facile à mettre en œuvre en raison notamment des volumes de données à collecter. Les objectifs classiques de la collecte des déchets sont de minimiser le nombre de véhicules nécessaires à cette collecte, de minimiser le temps total de collecte ou la distance totale parcourue par les véhicules [5]. Sans prétendre à l'exhaustivité, nous présentons ci-après différentes études d'optimisation de collecte dont nous avons connaissance.

Dans son papier, Kim et al. [6] en 2006, proposent d'étudier l'élaboration de circuits de collecte en se basant sur la méthode d'insertion de Solomon en prenant en compte quatre objectifs : les deux objectifs classiques de la collecte des déchets soit la minimisation du nombre de véhicules et la minimisation du temps total de trajet. Il rajoute aussi un objectif de compacité des tournées et d'équilibre entre ces tournées; ces derniers objectifs étant traités à l'aide d'un algorithme basé sur le groupement de capacité. Dans cette étude, les auteurs prennent en compte également le temps de pause des chauffeurs rippers. Les auteurs Nuortio et al. [4] ont développé une métaheuristique appliquée à la collecte des déchets en Finlande, basée sur des méthodes de recherche locale et d'autres métaheuristicues dans lesquelles des méthodes d'accélération et de réduction de mémoire ont été ajoutées. Lacomme et al. [7], en 2006, proposent d'étudier la collecte des déchets pour la ville de Troyes en utilisant une modélisation sur les arcs (Arc Routing Problem) et résout ce problème à l'aide d'un algorithme évolutionnaire qui prend en considération deux objectifs, la minimisation de la distance totale et la minimisation de la tournée la plus grande.

En 2007, Kim et al. [8] considèrent le problème de façon déterministe et de façon stochastique. Ils ont développé deux versions d'algorithmes pour gérer chaque type de problème et montrent que leurs algorithmes sont performants et améliorent les résultats donnés par des méthodes plus conventionnelles. En 2008, Bautista et al. [9] poursuivent une étude entamée en 2004 [10], et

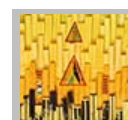
utilisent une méthode basée sur les colonies de fourmis pour gérer la collecte des déchets dans une partie de Barcelone. Cette méthode est combinée avec une heuristique de construction et une recherche locale.

L'ensemble de ces articles démontrent bien les besoins des villes pour améliorer les performances de leur système de collecte et l'effort fourni pour résoudre ces différents problèmes pratiques. Cependant bien que certaines contraintes soient communes et présentes dans la majorité des articles, de nombreuses contraintes sont issues directement du terrain et sont très souvent spécifiques à une étude. C'est pourquoi il semble difficile de transposer directement une méthode de résolution d'un cas à un autre et de généraliser ces méthodes.

Dans l'ensemble de ces études, nous avons pu constater que l'objectif de coût est prédominant, c'est l'élément essentiel pour construire des tournées. Nous allons essayer de minimiser le coût total de transport de la collecte qui est proportionnelle à la distance totale de parcourir par les véhicules.

III. PRESENTATION OF THE PROBLEM

Notre problématique émerge des problèmes de collecte des déchets du district de Bamako. Au fur et à mesure que le nombre de ménage augmente, les déchets générés augmentent également, afin de maintenir la qualité de l'environnement, les déchets générés doivent être correctement collectés. Pour rappel, dans la ville de Bamako, chaque habitant produit environ 1kg de déchets par jour. La gestion de ces déchets se fait à deux niveaux, la collecte primaire ou pré collecte assurée par les Groupement d'Intérêt Economique qui à l'aide de camions, de charrettes à traction et de tricycles, ramassent les déchets aux portes des concessions pour les déposer aux niveaux des dépôts de transits. A ce premier niveau, ce sont les GIE qui assurent cette gestion primaire et dans le cadre de la décentralisation le premier responsable est le Maire de la commune. La collecte secondaire est assurée par la Voirie et son partenaire l'Ozone Mali. Ainsi, c'est Ozone Mali qui transporte les déchets des points de transits, à la décharge finale de Noumoubougou ou encore dépôts final. Malgré que plusieurs acteurs se soient retrouvés sur le terrain à savoir les informels, les Groupement d'Intérêt Economique, Ozone Mali, le résultat reste insuffisant. Cette mauvaise gestion des déchets a des conséquences sur les eaux usées quand on sait que les eaux pluviales gérées par les collecteurs ne sont utilisés seulement que pour le drainage. Il est à noter que Bamako produit plus de 1600 tonnes de déchets ménagers par jour et seulement 40% de ces déchets sont évacués par Ozone-Mali. Cela prouve à suffisance que la ville est loin d'être propre. Les difficultés pour collecter les déchets à Bamako sont dues à l'allocation de ressources financières limitées et aussi le problème de route de transport. Il y'a moins de route optimale



pour que les camions fassent leurs tournées de la ville jusqu'au dépôt final qui est à 60 km de la ville. Cette étude va donc permettre de gérer la question des déchets de façon plus optimale.

Les contraintes fortes du système sont :

- passer devant tous les points de collecte,
- un nombre de véhicule maximum par jour de collecte,
- un tonnage maximum du camion à ne pas dépasser
- un temps de travail maximum.

IV. MATHEMATICAL MODEL

Notre objectif est de servir toutes les demandes de collecte de déchets, en minimisant le coût total de transport. Ce coût est relatif à la distance totale parcourue par les véhicules.

Le problème est caractérisé

Le problème précis que nous cherchons à résoudre est celui présenté par (Fisher et al) [11 ; 12] la formulation du modèle mathématique est basée sur un graphe orienté $G = (V, A)$ où :

- $V = (v_0, v_1, \dots, v_{n-1})$ est l'ensemble des n sommets (*noeuds*) du graphe représentant l'ensemble des clients, avec v_0 représentant le dépôt ;
- $A = \{(v_i, v_j) \mid v_i, v_j \in V; i \neq j\}$ est l'ensemble des arcs orientés représentant le trajet entre les deux sommets.

Les paramètres du problème

- $k = \{1, \dots, m\}$: l'ensemble des véhicules disponible ;
- Q la capacité maximale des véhicules ; elle est identique pour tous les véhicules
- q_i la capacité à collecter sur un nœud v_i ;
- d_{ij} la distance de parcours de l'arc (v_i, v_j) .
- $[a_i, b_i]$: la fenêtre de temps associée au nœud v_i avec a_i la date d'arrivée au plus tôt dans le nœud v_j et b_i représentant la date de fin de service au plus tard pour le nœud v_i ;
- t_i : le temps de service du nœud v_i ;
- t_{ij} : le temps du transport du nœud v_i au nœud v_j ;
- u_i^k : la variable de décision temporelle représentant l'heure d'arrivée du véhicule k dans le nœud v_i ;
- M : une grande valeur.

Les variables de décision utilisées sont :

- $y_i^k = 1$ si le nœud i est visité par le véhicule k et 0 sinon.
- $x_{ij}^k = 1$ si l'arc (i, j) est dans la tournée du véhicule k et 0 sinon.

La fonction objective:

$$\text{Minimiser } f = \sum_{i \in Z} \sum_{j \in Z} \sum_{k \in K} x_{ij}^k d_{ij} \dots \dots \dots (1)$$

$$\sum_{i=1}^n q_i y_i^k \leq Q \quad (k = 1, \dots, m) \dots \dots \dots (2)$$

$$\sum_{k \in K} y_i^k = 1 \quad (i = 1, \dots, n) \dots \dots \dots (3)$$

$$\sum_{k=1}^m y_i^k = m \quad (i = 0) \dots \dots \dots (4)$$

$$\sum_{i \in V} x_{ij}^k = y_j^k \quad (j = 0, \dots, n-1); \quad (k = 1, \dots, m) \quad (5)$$

$$\sum_{i \in V} x_{ij}^k = y_i^k \quad (i = 0, \dots, n-1); \quad (k = 1, \dots, m) \dots (6)$$

$$\sum_{ij \in X} x_{ij}^k \leq |X| - 1 \quad (\forall X \subset V), \quad (k = 1, \dots, m) \dots (7)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\} \quad (i, j = 0, \dots, n-1; i \neq j); \dots \dots (8)$$

$$y_i^k \in \{0, 1\} \quad (i = 0, \dots, n-1); \dots \dots (9)$$

$$y_i^k \leq u_i^k \leq b_i \quad (i = 0, \dots, n-1); \dots \dots (10)$$

$$u_i^k + t_i + t_{ij} - M(1 - x_{ij}^k) \leq u_j^k \quad (11)$$

$$\sum_i t_i y_i^k + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij}^k t_{ij} \leq T \quad (12)$$

Ce modèle mathématique exprime le fait que l'on cherche à déterminer un ensemble de tournées tout en minimisant la distance totale parcourue 1. La contrainte 2 exprime que la capacité du véhicule doit être respectée. Les contraintes 3 et 4 expriment le fait qu'un nœud est visité par un seul véhicule, le dépôt est visité par tous les véhicules. Les contraintes 5 et 6 établissent qu'un véhicule qui visite un nœud de collecte, le quitte pour visiter un autre nœud. La contrainte 7 établit que toutes les tournées doivent être connexes et issues du dépôt. La binarité des variables de décision est donnée par les contraintes 8 et 9. La contrainte 10 permet de vérifier que les nœuds sont collectés dans leur fenêtre de temps respective pour un véhicule donné. La contrainte 11 traduit la succession entre la collecte de deux sommets v_i et v_j : si v_j est collecté après v_i par un même véhicule k alors le début de la collecte v_j ne peut se faire tant que la collecte de v_i n'est pas terminée et tant que le trajet entre ces deux nœuds n'a pas été effectué. La prise en compte d'une limite sur la durée de chaque tournée (c'est-à-dire un temps de travail), notée T peut se faire en introduisant la contrainte 12.



V. METHODOLOGIE

Nous présentons l'approche basée sur l'algorithme de recherche taboue permettant de minimiser le coût total de transport.

La méthode de recherche taboue est une technique d'optimisation combinatoire conçue en vue de résoudre le problème du piégeage dans les minimums locaux de la fonction objectif. Elle a été formalisée en 1986 par F. Glover [Glov86] et, indépendamment, sous une appellation différente, par Hansen [Hans86], mais elle tire son origine de concepts antérieurs (du domaine de l'intelligence artificielle), notamment d'idées développées par F. Glover [Glov77]. Le principe de cette recherche est très simple. Dans une recherche stochastique basique il faut générer des solutions initiales, puis on les modifie aléatoirement à l'aide d'opérateurs de modification appelés opérateurs de perturbation. Les nouvelles solutions générées sont appelées voisins (Alain. H et al). Supposons que nous cherchons à minimiser une fonction $f(x)$ les caractéristiques d'une recherche tabou sont résumées dans l'algorithme suivant :

Partant d'une solution s à l'itération K , nous définissons un sous voisinage V^* dans le voisinage de $N(s)$, en fonction de l'historique déjà mené. Le choix de sous voisinage vise à éviter une exploration d'une zone trop grande, impraticable ou trop coûteuse en temps. La meilleure solution s^* est calculée dans V^* , et devient la nouvelle solution courante. Lorsqu'aucun mouvement améliorant la solution actuelle n'est pas possible, le risque de visiter la solution précédente et plus généralement créer des cycles est présent. Il importe donc d'interdire les mouvements conduisant vers des solutions récemment visitées ce qui peut se faire en retirant ces solutions de voisinage de s . Plus généralement, le voisinage de s dépendra de l'itinéraire suivi, ce que nous noterons $N(s, k)$. L'exclusion de solutions peut se faire grâce à une ou plusieurs listes tabou qui tiennent en mémoire les dernières solutions rencontrées ou des caractéristiques communes à celles-ci.

5.1 Algorithme de recherche tabou

Etabpe1 :

Initialisation :

s_0 Une solution initiale

$s \leftarrow s_0, s^* \leftarrow s_0, c^* \leftarrow f(s_0)$

$T = \emptyset$

Etape2 :

Générer un sous-ensemble de solution au voisinage de s

$s' \in N(s)$ tel que $\forall x \in N(s), f(x) \geq f(s')$ et $s' \notin T$

Si $f(s') < c^*$ alors $s^* \leftarrow s'$ et $c^* \leftarrow f(s')$

Mise à jour de T

Etape3 :

Si la condition d'arrêt n'est pas satisfaite retour à l'étape 2.

5.2 Tabu search algorithm Adaptation of tabu research to the problem of waste collection

Nous utilisons l'heuristique du plus proche voisin pour déterminer la solution (tournée) initiale de notre problème ensuite la méthode de 2-opt sera utilisée pour la génération du voisinage de la solution initiale.

5.2.1 Solution initiale

Elle est déterminée en partant du dépôt, on visite ensuite le sommet le plus proche du dépôt et on répète le processus jusqu'à ce que tous les sommets soient visités et qu'on puisse revenir au sommet de départ. Une décision localement optimale est prise à chaque étape de l'algorithme.

5.2.2 Génération du voisinage de la solution initiale

Soit s la solution du problème posé représentée par la tournée t . La génération des solutions voisines se réalise à l'aide de la méthode de 2-optimalité qui consiste à supprimer deux arcs non adjacents d'une tournée, puis à reconnecter les deux chaînes obtenues par deux nouvelles arcs pour reformer le cycle.

5.2.3. La liste tabou

Elle est très coûteux en termes d'espace mémoire de conserver toute la solution qu'on veut rendre tabou. Pour cette raison, il est nécessaire de minimiser la taille de la liste taboue. Pour cela, on introduit une liste taboue qu'on construira de la manière suivante. Quand deux arcs $(a; b)$ et $(c; d)$ subissent un inter change, on introduit l'élément (a, c, b, d) dans la liste taboue. On dira que la transformation des deux arcs de la tournée est tabou si l'élément (a, c, b, d) est dans la liste taboue.

5.2.4 Critère d'arrêt

Le processus arrête après un certain nombre d'itérations successives effectuées sans réaliser une minimisation de la fonction objective ou quand le nombre maximum d'itération fixé est atteint.

5.2.5. Application de l'algorithme de recherche tabou au problème étudié

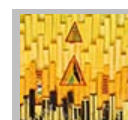
Nous appliquons l'algorithme de recherche tabu à un réseau composé de dix nœuds répartis géographiquement. Nous avons rapporté les distances entre le gisement et les nœuds et entre eux la matrice.

Initiation

Initial solution:

Let s_0 be the initial tour determined by the nearest neighbor method

s_0 : 0-4-1-5-3-7-2-6-8-9-0 total cost 140.



The tabu list is empty: $T = \emptyset$

Génération de quartier de S_0

La méthode de l'optimalité 2 est appliquée à la tournée initiale s_0 et la taille de la liste taboue est fixée à 4 éléments, puis le nombre maximal d'itérations est de 7, c'est-à-dire que le processus est arrêté après 7 itérations.

Itération1:

Deux arcs sont non adjacents s'ils n'ont pas de sommet en commun.

Arcs non adjacents de la tournée initiale:

(4,1) et (5,3); (1,5) et (3,7); (5,3) et (7,2); (3,7) et (2,6); (7,2) et (6,8); (2,6) et (8,9)

0-4-1-3-5-7-2-6-8-9-0 de coût=145

0-4-1-5-7-3-2-6-8-9-0 de coût=140

0-4-1-5-3-2-7-6-8-9-0 de coût=144

0-4-1-5-3-7-6-2-8-9-0 de coût=137 s_1^*

0-4-1-5-3-7-2-8-6-9-0 de coût=150

Taboo list: T

4	5	1	3
1	3	5	7
5	7	3	2
7	6	2	8

A partir de cette itération, on vérifie si la modification m est tabou ou non et on continue la génération des quartiers.

Iteration 2 :

$s_1^* \leftarrow s_0, s_1^* \in V(s_0) \Leftrightarrow \min V(s_0) = s_1^*$

$s_1^*=0-4-1-5-3-7-6-2-8-9-0$ de coût=137

Determination de $\min V(s_1^*)$

The non-adjacent arcs are : (4,1) et (5,6); (1,5) et (3,7); (5,3) et (7,6); (3,7) et (6,2); (7,6) et (2,8); (6,2) et (8,9)

$\min V(s_1^*) = s_2^* = 0-4-1-5-7-3-6-2-8-9-0$ de coût 137

The modification $m = (5,7,3,6) \notin L$ donc on met à jour la liste taboue.

1	3	5	7
5	7	3	2
7	6	2	8
5	7	3	6

Iteration 2

$s_2^* \leftarrow s_1, s_2^* \in V(s_1) \Leftrightarrow \min V(s_1) = s_2^*$

$s_1^*=0-4-1-5-3-7-6-2-8-9-0$ de coût=137

Determination of $\min V(s_2^*)$

Non-adjacent arcs are: (4,1) et (5,6); (1,5) et (3,7); (5,3) et (7,6); (3,7) et (6,2); (7,6) et (2,8); (6,2) et (8,9)

$\min V(s_1) = s_2^* = 0-4-1-5-7-3-6-2-8-9-0$ de coût 138

The modification $m = (5,7,3,6) \notin T$ so we update the tabu list.

1	3	5	7
5	7	3	2
7	6	2	8
5	7	3	6

Cette procédure se poursuit de la même manière jusqu'à ce qu'un des critères d'arrêt soit vérifié

$c(s^*) = \min(c(s_1), c(s_2), \dots, c(s_{10}))$ therefore $s^* = c(s_3) = 133$

V. NUMERICAL RESULTS

Dans cette partie, nous présentons les résultats obtenus par notre approche de résolution sur un réseau de collecte des déchets de Bamako. Les données utilisées dans ce document ont été collectées pendant une semaine auprès d'Ozone Mali. Cette situation concerne 25 nœuds répartis sur différents sites et 3 véhicules assurent la collecte. Nous présentons le résultat obtenu par notre approche de résolution et nous comparerons ce résultat avec celui de la société Ozone. Le test numérique a été effectué sur le solveur Matlab R2014a. Les résultats figurent dans les tableaux suivants.

Table 1: Result obtained by the tabu search

Vehicle	Tour
1	[0-22-21-4-5-10-15-19-23-13-0]
2	[0-20-8-11-9-3-7-4-16-24-0]
3	[0-18-1-10-2-6-12-0]
Cost	601 km

Table 2: Actual Result for Ozone Mali

Vehicle	Tour
1	[0-13-8-4-15-19-23-22-5-10-0]
2	[0-9-21-16-24-11-9-20-7-0]
3	[0-3-12-18-2-1-6-13-0]
Cost	803 km

Comme nous pouvons le voir dans les deux tableaux, la distance totale parcourue par l'ozone est de 803 km, cette solution est améliorée par l'algorithme de recherche tabou avec un pourcentage de $(803-601) * 100/803 = 25\%$

Cette réduction de la distance parcourue réduit la quantité de carburant utilisée par le véhicule et profite ainsi à Ozone Mali. Plus les déplacements sont moins nombreux, moins l'usure du véhicule utilisé est toujours rentable pour les entreprises. Nous avons supposé que les fenêtres temporelles étaient flexibles. Il est à noter que 75% des nœuds ont été collectés dans le temps imparti et les 15% restants représentent l'heure du dépôt.

VI. CONCLUSION



Un algorithme de recherche pour résoudre le problème de collecte des déchets avec des fenêtres temporelles a été développé en deux étapes. Initialement, une solution initiale satisfaisant à la fois les contraintes de capacité et de fenêtre temporelle a été générée. Ensuite, pour améliorer cette solution initiale, une recherche taboue a été appliquée. Ce processus algorithmique a affiné toutes les rondes acquises pour obtenir une distance optimale. L'algorithme a été appliqué à un échantillon à 25 nœuds du problème de référence de Solomon. Les résultats obtenus montrent que la solution optimale est inférieure à la solution réelle d'Ozone Mali. Avec une bonne planification des tournées, la collecte des déchets d'ozone peut économiser beaucoup d'argent.

REFERENCES

- [1] Ozone-Mali collecte de déchets dans le district de Bamako. 2019
- [2] Thomas Stützle. The Travelling Salesman Problem: State of the Art. Darmstadt University of Technology Department of Computer Science, 2003
- [3] G.Laporte, M.Gendreau, J-Y.Potvin, F.Semet. Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem. International Transactions in Operational Research, 7, pp. 285-300, 2000
- [4] T.Nuortio, J. Kytöjoki, J. Niska, and O. Bräysy. Improved route planning and scheduling of waste collection and transport. Expert Systems with Applications, 30 : 223-232, 2006
- [5] B.M. Ombuki-Berman, A. Runka, and F.T. Hanshar. Waste collection vehicle routing problem with time windows using multi-objective genetic algorithms. Technical Report CS-07-04, 2007
- [6] B.I. Kim, S. Kim, and S. Sahoo. Waste collection vehicle routing problem with time windows. Computers and Operations Research, 33: 3624-3642, 2006.
- [7] P. Lacomme, C. Prins, and M. Sevaux. A genetic algorithm for a bi-objective capacited arc routing problem. Computers and Operations Research, (33) : 3473-3493, 2006.
- [8] D. Kim, H.S. Choi, and D.H. Lee. Vehicle routing in a refuse collection system: a case study. Computational Science and its Applications, ICCSA 2007, pages 467-473, 2007.
- [9] J. Bautista, E. Fernández, and J. Pereira. Solving an urban waste collection problem using ants heuristics. Computers and Operations Research, 35:3020-3033, 2008.
- [10] M.L. Fisher and R. Jaikumar. A generalized assignment heuristic for vehicle routing. Networks, 11:109-124, 1981.
- [11] P. Francis, K. Smilowitz, and M. Tzur. The period vehicle routing problem with service choice. Transportation Science, 40 :439-454, 2006.
- [12] R. Faure, B. Lemaire and C. Picouleau. Précis de recherche opérationnelle. Méthode et exercice d'application, pages 408-409, 2016.



Projet de conception d'un système d'information d'alerte sécuritaire

Abdoulaye COULIBALY
abdcoul@yahoo.fr

RESUME : La prolifération des téléphones smartphones fait de l'outil d'information et de communication un moyen fiable pour des domaines d'activité variés comme l'éducation, le commerce, la santé et la sécurité. Dans le domaine de la sécurité, un problème entravant la détection et la dénonciation des crimes est le manque de plateforme confidentielle et efficiente de communication entre les forces de sécurité et la population. La technologie de téléphonie utilisant les 3G et 4G démontre des capacités avérées de détection et de suivi de l'activité criminelle. Dans cette étude, le chercheur propose un projet de développement d'un système d'information et d'alerte de crimes et catastrophes basé sur la technologie Android, GPS et système d'information géographique. Une étude de référence d'Afro baromètre de 2013 indique que, la plupart des crimes au Mali se sont pas rapportés aux forces de sécurité car les populations parce qu'elles ne souhaitent pas le faire physiquement. Cette future application créera les conditions de communication efficaces et sécurisées entre les forces de sécurité et la population dans la lutte contre la criminalité

Mots clés : Crimes et catastrophes, Application Mobile, Géolocalisation, Système Android, Forces de Sécurité, Population.

I. INTRODUCTION

La criminalité est l'un des défis majeurs auquel la plupart des pays du monde est confronté [1]. Chaque famille ou activité économique a été au moins une fois directement ou indirectement affectée par le vol, le cambriolage, le vandalisme, ou d'autre type de crime. Des recherches ont identifié les appareils mobiles comme une source possible pour la détection et la dénonciation du crime [2]. Le haut niveau technologique des téléphones mobiles, smartphones et tablettes ont beaucoup contribué à leur haute demande et usage par le grand public pour accomplir des tâches variées. Selon le département de recherche de Statista [3], en 2019, près de 2,5 milliard de smartphones sont utilisés dans le monde, et ce chiffre devrait atteindre 2,87 milliard en 2020. Le mobile en Afrique est bien plus qu'un simple canal de communication. C'est aussi un outil de travail, de gestion de transactions financières, de divertissement etc. L'utilisation du mobile continue de progresser en Afrique. La GSM Association [4] nous apprend par exemple que le continent comptait près de 468,9 millions de souscripteurs mobiles en 2018. L'Afrique se positionne comme un continent avec un des taux d'utilisation du mobile les plus forts (presque 80%) avec un taux de croissance du marché évalué à +4% par rapport à l'année 2017.

Le Mali n'est pas en marge de cette pénétration des nouvelles technologies de l'information et de communication. Selon l'Autorité malienne de Régulation des Télécommunications/TIC et des Postes (AMRTP), le taux de pénétration affiché de l'internet au Mali était estimé à 21% au deuxième trimestre 2019 pendant que le réseau téléphonique dénombrait 6 275 261 utilisateurs de smartphone pour la même période [5]. Selon le même rapport, la capitale Bamako, a le plus grand nombre

d'utilisateurs et avec le taux de connectivité internet le plus élevé du Mali. L'introduction du réseau 4G par les opérateurs téléphoniques de la place, nous donne une grande opportunité de développer des plateformes mobiles pour détecter et dénoncer les activités criminelles avec beaucoup plus de précision et en temps réel.

Les forces de sécurité sont considérées comme la face la plus visible de l'autorité du gouvernement qui interagit avec les citoyens [6]. Les décennies précédentes ont été marquées par des nouveaux modèles du maintien de l'ordre public et de sécurité comme la Police Intelligente, la Police basée sur la production de la preuve, la police de renseignement, et la police communautaire [7]. La Police Communautaire ou Police de Proximité est celle qui a été largement répandue à travers le monde y compris au Mali. L'objectif de la Police de proximité est d'inclure la communauté locale dans la gestion de leur propre sécurité enfin d'établir la confiance et d'améliorer la sécurité humaine à travers des échanges interactive d'information [7]. La Police de Proximité pourrait être utile : (a) dans la participation la communauté locale dans la recherche de solution à leur défi sécuritaire, (b) dans la lutte contre le crime, (c) dans la réduction de la peur entre les forces de sécurité et la population, (d) dans la dissémination des informations sécuritaire au public, et (e) dans l'accroissement des capacités limitées du personnel des forces de sécurité.

Le but essentiel de la Police de la police de proximité est d'établir un environnement de confiance entre la communauté et les forces de sécurité afin d'améliorer la sécurité humaine en mettant l'accent sur l'identification et la prévention du crime au lieu courir derrière les criminels après la commission



leurs forfaits [8]. Le moyen idéal pour identifier et déceler le criminel n'est pas le policier mais le citoyen qui connaît bien la communauté, ses membres et leur quotidien. D'autre part malgré que, le policier ait le mandat légal d'utiliser la force, il a une chance réduite de pouvoir de prévention du crime. De ce fait, les forces de sécurité ont besoin de développer un partenariat de complémentarité avec les membres de la communauté, les médias, des organisations de la société civile et même les sociétés privées.

II. PROBLEMATIQUE

Depuis des années, les autorités sécuritaires du Mali ont initié plusieurs des séances de sensibilisation des populations sur les avantages de la police de proximité. Les responsables de la police, de la Gendarmerie et de la Garde Nationale ont même créé des cadres de rencontre et de concertation afin d'amener les citoyens à collaborer avec leurs services dans la gestion de la sécurité et la lutte contre la criminalité dans leur communauté mais des efforts supplémentaires restent à faire quant au moyen de communication et de dénonciation des crimes. Une étude menée par Afrobaromètre au Mali publiée en novembre 2013 a fait ressortir les raisons pour lesquelles les populations civiles ont du mal à collaborer avec les forces de la sécurité et à dénoncer les activités criminelles dans leurs localités. Cette étude qui a porté sur la décennie 2002-2012, affirme que plus de citoyens sont effrayés par l'insécurité dans leurs zones que les habitants des zones rurales. L'étude avance aussi que 80% des citoyens ne voit pas les forces de sécurité dans leurs communautés. Ce taux dépasse les 95% pour les zones rurales [9]. Ce manque de visibilité explique l'absence de l'implication de la communauté dans la gestion de la sécurité. Enfin, l'étude révèle que la plupart d'actes criminels commis au Mali ne sont pas dénoncés aux forces de sécurité par les populations. Les principales raisons citées par les personnes interviewées sont: (a) les gens n'ont pas beaucoup de temps, (b) Absence de poste / commissariat de police ou ils sont trop loin de leurs localités, (c) la police va nous demander de l'argent avant d'intervenir, (d) les gens craignent les représailles des criminels, (e) les policiers pourraient être eux même impliqués dans les cas de criminalité. Ce projet dont le but est de développer un outil de communication efficace et efficiente entre les forces de sécurité et la population aura une fonction anonyme qui permettra aux citoyens de faire des dénonciations en toute sécurité et sans contact physique avec les forces de sécurité. Cette innovation permettant la transmission de l'information aux forces de sécurité en temps réel devra faciliter une réponse rapide de leur part.

III. OBJECTIFS

3.1 Objectif General

L'objectif général de ce projet est de développer une application informatique pour les téléphones

mobiles pour la dénonciation des crimes et catastrophes afin d'améliorer la sécurité des civiles et la lutte contre la criminalité.

3.2 Objectifs Spécifiques

La conception de cette application qui doit être utilisée efficacement dans le cadre de la police de proximité visera les objectifs spécifiques suivants :

- améliorer la confiance entre la communauté et les forces de sécurité ;
- garantir la confidentialité dans les dénonciations ;
- obtenir la participation des citoyens à leur propre sécurité
- lutter efficacement contre la criminalité et;
- combler le manque de ressource des forces de sécurité.

IV. CONTEXTE DE L'ART

Le progrès des technologies de l'information et de la communication a provoqué l'avancée des sciences de l'informatique et a ainsi abouti à l'émergence de moyens sophistiqués de détection et de lutte contre le crime dans la société [10]. Leur évolution a conduit à l'apparition des systèmes de transmissions de données très avancés (3G et 4 G) pour les applications vidéos et la globalisation. Un grand nombre de ces applications sont les réseaux sociaux que les usagers utilisent sur des smartphones pour rester en contact avec des proches. De nos jours, elles sont aussi utilisées dans la gestion des situations d'urgences au moment des crises. De plus en plus, la génération et la dissémination d'information par les citoyens est en train de jouer un rôle capital dans le système alerte et de réponse dans la gestion des crises de sorte que certaines organisations et gouvernements les ont intégrées dans leurs activités [11].

Les Technologies de l'information et de la Communication (ICT) ont été largement utilisées par plusieurs gouvernements dans la promotion à la participation active des citoyens dans la gouvernance. A travers les smartphones et tablettes, les citoyens peuvent informer leur administration locale sur les incidents dans leurs communautés avec des photos et vidéos comme preuves. Avec ces outils et applications modernes, les citoyens peuvent produire et consommer des services de façon électronique sans contact direct avec les représentants de leur administration [12]. La technologie de la téléphonie mobile offre à l'administration une grande opportunité d'obtenir des citoyens des informations relatives à leur environnement. Les générations actuelles de téléphone avec des écrans tactiles, caméras et systèmes GPS (Global Positioning systems) donnent aux utilisateurs de moyens efficaces d'informer les autorités sur les incidents sécuritaires avec des coordonnées géographiques précises et des images



comme preuves. En encourageant ce pouvoir de la masse populaire, les citoyens pourront être à mesure de donner des alertes dans les endroits avant ou au moment des dangers [13]. Ainsi, ils permettront aux services de sécurité et d'urgence de prendre des dispositions rapides et en même temps à la population d'éviter les zones dangereuses.

De nos jours, des ingénieurs et chercheurs ont développé un certain nombre de système informatique pour détecter et alerter sur les crimes et les catastrophes. Cette partie donne une vue d'ensemble sur certaines applications informatiques de lutte contre la criminalité, utilisées en Amérique, en Asie et en Afrique. L'aperçu met l'accent sur leurs fonctionnalité et mode opératoire.

4.1 Mobile Vic

Mobile Vic PD est une application pour téléphone Iphone développée par la police canadienne pour lutter contre le crime. L'application peut être utilisée pour dénoncer les crimes mineurs de façon anonyme. Elle permet de faire une mise à jour des statistiques sur les crimes, et permet de déclarer les enfants perdus ainsi que les objets volés avec la possibilité de charger leurs images et d'autres caractéristiques. Elle permet aussi de rapporter les infractions de la circulation routière. Mobile Vic PD donne la possibilité aux citoyens de suivre les informations des medias connectés et les communiqués de presse et publications officielles importants [14].

4.2 TipSubmit

C'est une application libre pour les telephones Android et Iphone qui a été lancée à New Orleans (USA) pour lutter contre le crime. Elle est considérée comme un logiciel permettant aux citoyens de rapporter anonymement les crimes. Son système identifie ses utilisateurs uniquement par leur code tip généré par TipSubmit. L'application permet à ses usagers d'envoyer des photos et vidéos avec les coordonnées GPS de leurs localisations. Une autre caractéristique clé de TipSubmit est le nombre illimité de mots qu'il permet d'envoyer sous forme de SMS. Le système permet un dialogue en temps réel entre la police et le dénonciateur [15].

4.3 AppLERT

AppLERT est une application philippine pour téléphone Android qui permet aux habitants de la ville de Manille de rapporter aux autorités les incidents et catastrophes pour un secours immédiat. Cette application a trois composantes qui sont : La composante envoi d'information, la composante demande de secours et la composante envoi de coordonnées à ses proches [16].

a. Composante envoi d'information

Cette composante permet aux usagers l'envoi l'information au centre de commandement sur

chaque catastrophe qui prend place dans leur communauté. L'information doit comprendre le type d'incident, sa description, et une option pour les photos, vidéos et les coordonnées GPS des lieux. Une fois soumise, l'information sera accessible à tous les usagers de la plateforme afin de les alerter.

b. Composante demande de secours

Le mode secours donne la voie aux autorités de déployer immédiatement le secours approprié après l'envoi d'information par un usager. Dès que le centre de commandement reçoit la demande du citoyen sur la plateforme, il appelle automatiquement le service approprié le plus proche du lieu de l'incident pour réponse rapide. Les coordonnées GPS du service mobilisé seront continuellement envoyées au centre de commandement aussitôt qu'il commence le mouvement vers les lieux de l'incident.

c. Composante envoi de coordonnées à ses proches

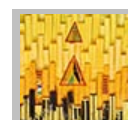
Cette option est une fonctionnalité du système pour permettre à ses usagers d'envoyer leurs coordonnées GPS aux membres de leurs familles. Dès qu'un danger est imminent, l'usager peut envoyer ses coordonnées courantes avant qu'il ne perde le réseau ou la connexion ou qu'il soit en panne de batterie. Les mêmes coordonnées seront envoyées au centre de commandement sous forme de SOS.

4.4 Hatari

Hatari.co.ke est un site internet qui sert de plateforme aux citoyens kényans leur permettant de rapporter différents types de crime par l'envoi à un numéro de téléphone d'un message texte décrivant le type de crime et les coordonnées géographiques. Le message envoyé sera affiché sur le site web sur la carte de la ville avec la position géographique de l'informateur [17].

V. METHODE/METHODOLOGIE

Dans les zones dangereuses ou la vie des populations civiles peuvent en danger du fait d'une catastrophe ou de l'activité des criminels, le téléphone portable devient une arme d'une grande importance s'il est bien utilisé. L'utilisation des Technologies de l'Information et de Communication (TIC) permet aux citoyens de rapporter les incidents sécuritaires et aux forces de sécurité de suivre de près l'activité criminelle et aussi de tenir à jour leur fichier criminel. La prise des photos et vidéos des crimes en direct est une étape importante dans la documentation d'une procédure criminelle. Cela offre une opportunité aux forces de sécurité chargée de l'application de la loi de bien fournir le dossier judiciaire avec des images précieuses du crime. La présente étude envisage de développer un système informatique qui permettra aux citoyens de signaler les crimes et incidents sécuritaires. Elle permettra aussi aux forces de sécurité de suivre de près la



criminalité et en temps réel. L'application qui sera développée à cet effet sera téléchargeable gratuitement sur Google Play Store pour les téléphones Android.

5.1 Architecture et Configuration du système

Architecture de la future application sera le type client-serveur. Le côté client sera l'application Android sur le téléphone de l'utilisateur (grand public).

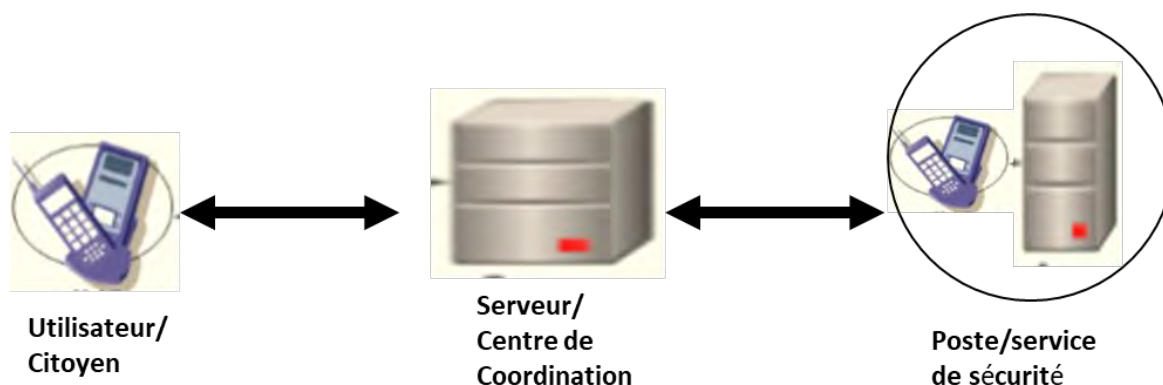


Figure 1: Architecture client-serveur

Le serveur sera constituée des modules suivants:

- i. Une Base de Données MySQL pour l'enregistrement des informations
- ii. Un Contrôleur d'Accès qui permet l'identification et l'authentification des catégories d'utilisateurs
- iii. Un veilleur: Ce module détecte la connexion du client et sa requête.

L'interaction entre les différentes composantes de cette architecture est décrite ci-après:

Le Veilleur est le module qui détecte les requêtes de connexion des clients. La requête est ensuite transmise au Contrôleur d'Accès. Le Contrôleur d'Accès est composé des fonctions de consultation, d'ajout et de rejet. La fonction « consulter » permettra au client de retrouver et de consulter les informations disponibles dans la base de données. « Ajouter » permettra au client d'ajouter des informations à la base de données. Les citoyens auront un niveau d'accès limité tandis que les forces de sécurité auront un accès universel aux fonctionnalités. En outre, les forces de sécurité auront la possibilité de choisir sur la carte la localisation du lieu de l'incident qu'elles veulent ajouter. Si le client choisit une fonctionnalité à laquelle il ne doit pas avoir accès, sa requête sera automatiquement rejetée par la fonction « Rejet » du serveur. Toutefois, l'acceptation de la requête "Ajouter" formulée par le citoyen devra automatiquement activer la localisation GPS de son téléphone mobile.

La base de données devra contenir les informations suivantes:

- i. Les informations les activités criminelles en cours
- ii. Les descriptions d'objets volés
- iii. Les informations des personnes disparues

- iv. Les informations sur les suspects criminels
- v. Les informations sur les accidents et catastrophes
- vi. Les coordonnées GPS dynamiques du citoyen en situation de danger
- vii. Les descriptions des personnes recherchées par les forces de sécurité
- viii. Les descriptions d'objets retrouvés
- ix. Les descriptions des personnes retrouvées
- x. Les informations sur les criminels arrêtés par les forces de sécurité.

La base de données sera configurée pour le stockage des informations en formats texte, photo, audio et vidéo. Une fonctionnalité d'analyse permettant d'analyser la base de données afin d'établir les tendances et statistiques de la criminalité dans la ville devra être ajoutée aux fonctionnalités de l'application.

Ainsi les forces de sécurité et le grand public pourront utiliser la même application client sur leurs téléphones portables afin d'interagir avec le serveur. L'application générera des identifiants à chaque groupe d'utilisateurs (Services de sécurité et citoyen) qui permettra au serveur de les identifier afin de leur donner l'autorisation d'accès aux informations.

Le fonctionnement du Contrôleur d'Accès sera basé sur le principe que les services de sécurité auront un droit d'ajout et de consultation universel aux informations alors que les citoyens ne pourront qu'enregistrer les informations relatives aux activités criminelles en cours, suspects, objets volés, objets retrouvés, personnes disparues, suivi du citoyen en situation de danger, accidents et catastrophes. Le grand public aura aussi accès aux informations sur les personnes, les criminels arrêtés et les tendances de la criminalité.



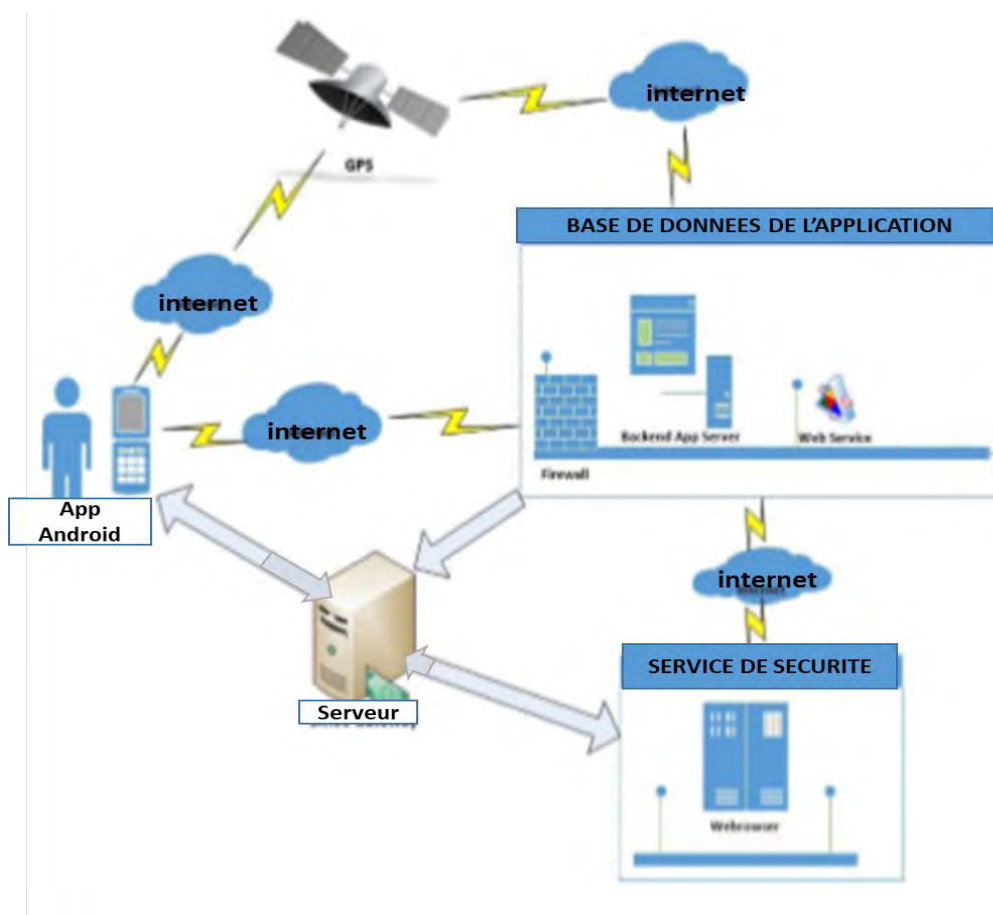


Figure 2: configuration du système

5.2 Description et fonctionnement

L'application sera conçue pour envoyer des messages textes, images, vidéo et audio d'une manière simple et sécurisée. Elle ressemblera à une application photo numérique qui sera mini d'une option sécurisée permettant de rendre inaccessible les informations que l'utilisateur a enregistrées et envoyées au cas où son téléphone est saisi pour être examiné. Ces informations seront enregistrées de façon anonyme sur la plateforme avec la date, l'heure et les coordonnées GPS de leurs lieux de prise et d'enregistrement. L'utilisateur (citoyen), pour alerter les forces de sécurité, devra appuyer sur un bouton soit pour rédiger un texte message, soit pour prendre une photo, soit pour enregistrer une vidéo ou une audio. Le système qui communiquera dans les deux sens permettra d'une part au centre de coordination de contacter le service de sécurité le plus proche pour des actions adéquates, et d'autre part d'envoyer le dernier numéro de téléphone de l'unité activée au citoyen qui a donnée l'alerte. L'informateur décidera d'appeler ou pas le numéro de l'intervenant s'il souhaite donner plus de détails.

Une autre fonctionnalité du système est de permettre au centre de coordination et au service de sécurité d'ajouter des crimes ou incidents non rapporté dans la base de données par les citoyens. Tous les

incidents mis sur la plateforme seront accessibles aux citoyens sur un fond de la carte de la ville qui tiendra lieu de cartographie de la criminalité de la ville pour une période bien déterminée. Pour contrôler l'action du service de sécurité activée, l'application permettra au centre de coordination de suivre son mouvement en temps réel à l'aide du suivi GPS sur leur téléphone d'opération sur aussi connecté à la plateforme. Enfin, le mode "Danger" permettra à tout citoyen se sentant en danger et qui nécessite une intervention d'urgence de partager sa localisation en temps réel aux forces de sécurité. L'utilisateur aura la possibilité de préenregistrer les identifiants de trois proches avec qui il souhaiterait partager ses coordonnées en même temps que les forces de sécurité à chaque fois qu'il se trouve en situation de danger. Un bouton spécial sur l'application Android permettra d'activer ou de désactiver ce mode.

VI. RESULTATS ATTENDUS

Le développement de cette application qui sera une plateforme dédiée à la lutte contre la criminalité et l'insécurité en zone urbaine devra être un outil qui renforcera la communication entre les forces de sécurité et la population dans le cadre une police de proximité. Son utilisation massive par les parties prenantes permettra de retrouver les engins volées,



d'arrêter les personnes recherchées, de lutter contre les attaques armées dans les villes, et de secourir les personnes les personnes en situation de danger de façon efficiente. Enfin, grâce à la franche collaboration et la rapidité de mise en œuvre de la réponse par les forces de sécurité, cet outil technologie contribuera à la sécurité; gage de développement économique du pays.

RÉFÉRENCES

- [1] Christine Zhen-Wei Qiang, Alexander Pitt, Seth Ayers,” Contribution of Information and Communication Technologies to Growth”, World Bank Working Paper No. 24.
- [2] Portio Research, “Smartphone Futures 2012-2016”, 2015, Accessible: www.portioresearch.com/media/2548/SPF12-16BROC.pdf.
- [3] Statista, 2019, Nombre de smartphones vendus aux utilisateurs finaux dans le monde, <https://fr.statista.com/statistiques/565012/ventes-mondiales-de-smartphones-aux-utilisateurs-finaux/>, accédé le 27 décembre 2019.
- [4] GSMA, 2018, L'Economie Mobile : Afrique Subsaharienne.
- [5] Autorité malienne de Régulation des Télécommunications/TIC et des Postes (AMRTP), Rapport partiel d'activité annuelle 2019.
- [6] Lum C. Community Policing or Zero Tolerance?: Preferences of Police Officers from 22 Countries in Transition. *British Journal of Criminology*. 2009;49(6):788–809. Accessible à: <https://doi.org/10.1093%2Fbjc%2Fazp039>. doi:10.1093/bjc/azp039.
- [7] Journal of Human Security, 2019, Role of ICT in Community-Oriented Policing in South Asia: Challenges and Opportunities, Vol. 15, page 21 – 40.
- [8] Réseau International francophone de formation poiciere, 2015, Guide – la police de proximite, un concept appliqué à la francophonie.
- [9] Afro barometre, Serie 5 d'Afrobarometre Enquete au Mali, Novembre 2013
- [10] Jennifer Schroeder, “Document Title: COPLINK: Database Integration and Access for a Law Enforcement Intranet, Final Report”. Accessible à : <https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/grants/190988.pdf>.
- [11] Hitltz et al. Dealing with Information Overload When Using Social Media for Emergency Management: Emerging Solutions. (2013). Proceedings of the 10th International Association for Information Systems for Crisis Response and Management- ISCRAM Conference – BadenBaden, Germany.
- [12] Asia News Monitor. ASEAN Enhances ICT for Disaster Management (2014). ProQuest Central. [Online] Available: <http://search.proquest.com/pqcentral/docview/1477480065/B05D5D9>
- [13] Yang et al., 2014, Providing real-time assistance in disaster relief by leveraging crowdsourcing power. *Pers Ubiquit Comput* (2014) 18:2025–2034.
- [14] VicPD, “Report Crime, Tack Crime, Fight Crime,From your pocket”. Accessible à: <https://www.vicpd.ca/mobile>. [accédé :29/10/2013].
- [15] Tipsubmit 2019, Connecting the public to public safety”. Accessible à: <http://news.tipsubmit.com>. Accédé le 26 décembre 2019.
- [16] IEEE, 2016, AppLERT: A mobile application for incident and disaster notification for Metro Manila, IEEE Region 10 Symposium (TENSYP) Conference Paper, May 2016, Bali, Indonesia
- [17] www.hatari.co.ke. Accédé le 17 octobre 2019.



Mise au point d'un dispositif de surveillance des milieux fermés et ouverts au Mali

CAMARA Youssouf^{1*}, BALLO Abdou², COULIBALY Kantougoudiou³

¹Université de Segou, Mali

²Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Mali

³Institut d'Economie Rurale, Mali

Email : youssoufkakolo1@gmail.com

RESUME : Le manque des dispositifs de surveillance des milieux fermés et ouverts constitue un problème dans la zone sahélo-saharienne, plus particulièrement au Mali. Les technologies de surveillance des milieux que nous utilisons sont toujours celles importées et ne sont pas très bien adaptées à nos conditions. Elles ne sont pas aussi à la portée du citoyen lambda. C'est dans ce cadre qu'il a été initié un système de surveillance à distance des milieux. Il a été élaboré et repose sur les capteurs à base des miroirs biconcaves, nous révèlent des informations en temps réel et différé, dont la précision saisie est hautement significative. Le système de surveillance noté « SSn » protège et surveille les surfaces de forme géométrique connue ou polygonale à l'aide de la formule $\alpha = 180^\circ(n-2)$, en implantant à chaque angle, un dispositif portant le capteur biconcave « SS » en implantant le dispositif au centre de gravité du polygone dans le même sens, sur un seul angle. Dans tous les cas de figure, l'angle d'observation est obtenu par le rapport des cathètes et réplique une des lois de Kepler ; $\tan \alpha \approx \alpha$ et cet angle est établi sur le miroir biconcave qui devient le capteur des informations en temps réel et différé à travers la surface angulaires $= \frac{\pi r^2 \alpha}{360^\circ}$.

Ce dispositif a été testé et les résultats obtenus montrent les relations ci-après : $\frac{ds}{s} = \frac{dc}{d}$, $n_1 \sin \phi_1 / n_2 \approx \phi$ angle de Réfraction $\rightarrow 2\text{angles} \approx 2\phi \rightarrow \text{RTI}$ avec un ordre de grandeur de 10^{-1} et continue d'être amélioré. L'adoption de cette technologie permettra la diminution de la dépendance pour l'acquisition et l'installation des technologies de la surveillance importée pour le sahel.

Mots-clés : Dispositif, surveillance, capteur, biconcave, Mali.

I. INTRODUCTION GÉNÉRALE

1.1 Contexte et de l'étude

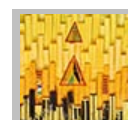
Les années passent, le développement dans les domaines scientifiques se démarque, en explicitant et en offrant des solutions idoines aux 2/3 des problèmes de l'humanité, dans toutes ses partitions (Physique, Mathématique, Biologie, Chimie, Géologie, etc.), du pôle Nord au pôle Sud en passant par les zones tempérées, le tropique de cancer et le tropique de capricorne. Cependant le cas particulier du développement des concepts de la recherche fondamentale, dans les domaines scientifiques n'est qu'effleuré par les chercheurs du continent africain. Dans le même sens, en Afrique, les exploits et les résultats établis dans ce domaine sont de loin inférieurs par rapport aux autres continents. Cependant pour notre conception toutes les données factuels élaborées sont endogènes. La répétition, par décennie de la crise sécuritaire, alimentaire de l'espace sahélo-saharienne, qui se concrétise par des catastrophes, naturelles, humaine est certes liée à la vulnérabilité cumulative des secteurs de l'Agriculture et des stratégies de la gouvernance, de leurs défenses nationales, plus particulièrement celle du Mali. Par ailleurs, réfléchir afin de dégager des stratégies concrètes adaptées à la sécurité de la zone sahélo-saharienne à travers la surveillance à distance semble être indispensable à une bonne gouvernance; cette surveillance s'attèlera à un cadrage correct avec une visibilité claire au

centimètre près de l'espace terrestre et aérienne. Dans plus de 50 pays à travers le monde, quelque 26 millions de personnes sont déracinées et déplacées dans leur propre pays suite à un conflit ou à des violations des droits de l'homme. En outre, les catastrophes naturelles ont provoqué le déplacement de 36 millions de personnes dans le monde entier (Ruven, 2010).

La prévention des catastrophes, la protection des populations civiles, militaires et l'amélioration des systèmes agraires sahéliens relèvent de la responsabilité des autorités nationales à travers des techniques de surveillance appropriés et adaptés développer et maîtrisé par les chercheurs en qualité de produit de l'intelligentsia africaine.

1.2 Justification du theme

La silice oxyde de silicium, blanc ou transparent, matière très dure qu'on retrouve abondamment dans la nature. Conçues de verre de quartz fondu, sont utilisées entre autres dans la fabrication des fibres optiques. D'une part, il possède une très bonne qualité d'isolation permettant aux forces électrostatiques de conduire l'information portée par la lumière. D'autre part, la forte conductivité thermique du silicium est également un élément décisif. Cette conductivité fait établir à l'œil nu les spectres lumineux de la longueur d'onde du visible située entre 400 à 800 μm et permet l'association directe des ces longueurs d'onde sur le substrat silicium sans dégradation de performances. Selon



(Aurélien, 2010), les cristaux photoniques, ou matériaux à Bandes Interdite Photonique (BIP) sont des structures diélectriques dont l'indice de réfraction varie périodiquement dans une ou plusieurs directions de l'espace. Ces capteurs sont susceptibles de couvrir de nombreuses fonctions des capteurs traditionnels. Selon (Mohamed, 2017) Un capteur est un composant technique qui **transforme un événement physique** se rapportant au fonctionnement du système (présence d'une pièce, température, pression etc.) à **un signal électrique exploitable** par la PC de ce système.

: détection, localisation et surveillance (Yolande, 2012). La périodicité de l'indice diélectrique joue le même rôle pour les photons que la périodicité du potentiel ionique dans un cristal pour les électrons. Face à ces nouvelles contraintes, les technologies de surveillance sont de plus en plus sollicitées et le besoin de qualification de leurs performances est d'une grande importance (durée de vie des capteurs, fiabilité, précision...). La photonique sur silicium utilise des matériaux d'excellente qualité optique : le silicium, la silice, ou le nitrure de silicium. Dans le domaine de longueur d'onde du proche infrarouge commun aux systèmes de télécommunication par fibre optique en silice ($1,3\ \mu\text{m}$ à $1,6\ \mu\text{m}$), le silicium est transparent. Le fort contraste d'indice de réfraction entre le silicium ($n \sim 3,5$) et les matériaux diélectriques d'isolation utilisés en microélectronique tel que la silice ($n \sim 1,45$) en fait un candidat exceptionnel pour guider les données optiques entre des composants actifs. Le silicium présente des qualités mécaniques excellentes. Il est disponible en grande taille (jusqu'à 8 pouces voire plus) avec des qualités de planéité et de poli élevées et pour un coût faible (Xuan, 2016). Ces dispositifs sont nécessaires pour le transfert de signaux électriques en signaux optiques et vice-versa. On peut diviser les dispositifs optoélectroniques en deux grandes familles, les émetteurs et les récepteurs (Wassila, 2018). La mise en forme spatiale nécessite la réalisation du système optique gérant l'interface entre la source du flux lumineux et l'entrée dans le récepteur. Ces composants sont souvent appelés microlentilles car ils jouent le plus souvent le rôle de lentilles qui permettent de focaliser le faisceau issu de la source primaire et secondaire provenant la cible. Un grand nombre de méthodes existe pour fabriquer ces microlentilles, la plupart des procédés permettant de les obtenir sont longs et délicats, générant par là un coût élevé de fabrication (Malik, 2004). Dans ce travail de thèse, nous proposons de caractériser les propriétés et les limites d'un cristal de silice qui se semblent avoir les propriétés de capter les images à travers les flux lumineux provenant d'une cible. Pour conduire ce travail l'objectif général suivant a été fixé : Caractérisation d'un micro capteur d'image sans fil pour la surveillance à distance des milieux fermés et ouverts au Mali.

Les objectifs spécifiques sont :

Objectifs spécifiques

- Collecter des informations nécessaires au renseignement des indicateurs de la prise de l'image dans les milieux fermés et ouverts
- Identifier les propriétés de détermination des paramètres observés
- Déterminer les paramètres optimaux d'identification des aires ou des objets.

1.3 Généralités sur les capteurs

1.3.1. Origine des capteurs

L'idée de guider la lumière par BIP plutôt que par RTI remonte à une quarantaine d'années, bien qu'à cette époque on parlait plutôt de guidage par réflexion Bragg et les concepts de cristal photonique et de BIP n'étaient pas véritablement explicités. Parallèlement à ces développements, l'idée fondamentale d'une structure présentant des BIP est formulée en 1987 par Yablonovitch et John. Il s'agit alors de créer une structure diélectrique périodique en 3 dimensions présentant une BIP quels que soient la direction et l'état de la polarisation de la lumière incidente (BIP complet). Ce concept comporte une forte analogie avec les bandes interdites électroniques des cristaux atomiques en physique du solide. Suivirent de nombreuses études théoriques et expérimentales sur des cristaux photoniques 2D, 3D, de diverses géométries et compositions (Aurélien, 2010).

La figure suivante caractérise les cristaux photoniques à 1, 2, 3 dimensions de couleurs.

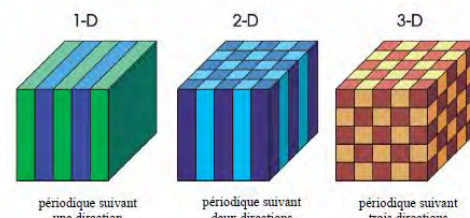
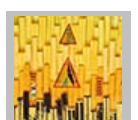


Figure 1: Exemple simple de cristaux photoniques à 1, 2, et 3 dimensions. Les différentes couleurs représentent des matériaux d'indices de réfraction différents

De nombreux dispositifs ont vu le jour selon le type d'utilisation. Les avancées perçues dans ce domaine ont permis la miniaturisation de ce composant, l'amélioration de ces performances et le pouvoir d'atteindre une multitude de longueurs d'onde.

Ce fut la naissance des photodiodes à base des semi-conducteurs, particulièrement compacts.

Les technologies d'**optique intégrée** permettent une bien meilleure reproductibilité des composants, réalisés par des techniques de masquage sur des substrats diélectriques ou semi-conducteurs, et une beaucoup plus grande variété de fonctions, avec notamment la possibilité d'intégrer des fonctions



différentes, y compris l'émission et la réception de la lumière dans des circuits intégrés.

1.3.2. Extraction et suivi d'objets

Le suivi d'objets consiste à associer les objets détectés dans l'image courante avec ceux détectés aux images précédentes. Il s'agit de maintenir l'identité des objets et l'évolution temporelle de leurs positions (ou d'une autre caractéristique). Ce problème peut être vu comme un problème de localisation spatiale et temporelle des objets présents dans la scène. De nombreuses approches de suivi d'objets se basent sur l'apparence d'un objet. L'utilisation de ces méthodes nécessite une représentation pertinente de l'objet possédant des primitives ables pour décrire son contenu. Le choix d'un modèle d'apparence est une étape cruciale et joue un rôle central dans les techniques de suivi visuel d'objet. Les performances de la reconnaissance de l'objet au cours de temps sont fortement liées au choix des primitives visuelles utilisées.

1.3.3. Représentation des objets

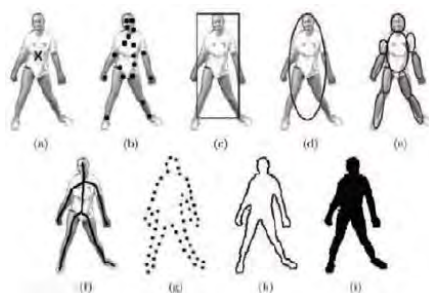


Figure 2: Exemples de représentation de la forme d'un objet (adapté de [Yilmaz 2006]).

(a)-(b) Représentation à l'aide d'un ensemble de points, (c)-(d)-(e) Représentation à l'aide d'un ensemble de formes géométriques, (f) Représentation à l'aide du squelette, (g)-(h)-(i) Représentation à l'aide du contour (partiel ou non) et de la silhouette d'un objet.

Les objets peuvent être représentés de nombreuses façons et le choix de la représentation d'un objet dépend fortement du domaine d'application. Nous reprenons dans cette section la classification proposée dans [Yilmaz 2006].

1.3.4. Représentation de la forme d'un objet

Les représentations basées sur la forme d'un objet sont nombreuses (Figure) : un ensemble de points, une forme géométrique (ex. un rectangle, une ellipse), un contour, une silhouette, un modèle 2D ou 3D, ...

Points - Un objet peut être représenté par un point. Il peut s'agir par exemple de son centre de masse, du centre de sa boîte englobante, ou tout autre point caractéristique de la forme. Il s'agit d'une représentation simple de la localisation 2D (ou 3D) de l'objet. Cette représentation se généralise à un

ensemble de points auxquels peuvent être associés des descripteurs locaux de couleur, de texture ou de mouvement.

1.3.5. Formes géométriques - L'objet est représenté par une forme géométrique, par exemple un rectangle ou une ellipse, permettant une description de la dimension de l'objet. Le mouvement des objets associés est généralement modélisé à l'aide de transformations de translations, affines ou projectives. Cette représentation se généralise par des modèles articulés, composés d'un ensemble de formes géométriques 2D ou 3D particulièrement utilisés dans la modélisation du corps humain [Brox 2010], [Yang 2011].

1.3.6. Contours - La représentation d'un objet par son contour permet une description plus complète de la forme d'un objet. Un contour peut être vu comme étant un ensemble de points ordonnés généralement estimé à l'aide d'une analyse du gradient d'intensité au voisinage d'un pixel. La région interne du contour est appelée silhouette de l'objet et peut être utilisée conjointement à l'information de contour pour le suivi d'objets [Rosenhahn 2005], [Yilmaz 2004].

1.3.7. Squelette Le squelette d'un objet peut être extrait pour caractériser la forme d'un objet ou d'une forme géométrique. Ce modèle est utilisé en tant que descripteur de forme pour la reconnaissance d'objets [Herda 2001]. Cette représentation peut être aussi bien utilisée sur des objets déformables que des objets rigides. Dans [Aziz 2011], les auteurs utilisent le squelette des formes obtenues par un module de détection de mouvement afin d'estimer la position de la tête et d'effectuer une tâche de comptage (voir Figure 3).



Figure 3: Exemple d'utilisation du squelette pour la représentation des piétons

[Aziz 2011]. Le squelette des formes détectées est représenté sous la forme d'un graphe afin de détecter la position de la tête des piétons présents dans la scène et de mettre en place un processus de comptage de piétons Cité par Brulin, 2012 .

1.3.8 . Les différences entre les images aériennes et les images satellites

La résolution d'une photographie ou d'une image nous indique la qualité (du détail visible) sur cette photographie ou image. On mesure cette résolution par la taille minimale que doit avoir un détail observé pour former un point distinct sur l'image.



En photographie aérienne, les prises de vue se font généralement par avion, c'est-à-dire à une altitude pouvant aller jusqu'à 10 Km. La résolution sera bonne et la photographie pourra comporter beaucoup de détails. A contrario, un satellite se trouve beaucoup plus éloigné de la surface du sol. Le satellite SPOT 3 par exemple, se trouve à une altitude de 822 Km. Sa résolution maximale est de 20 mètres ce qui signifie que tout ce qui est inférieur à cette taille sera invisible.

Contrairement aux capteurs optiques aéroportés, les capteurs spatiaux peuvent faire des acquisitions en déporté, ce qui leur permet d'avoir une plus large résolution temporelle.

Néanmoins, sans compter les difficultés liées aux corrections géométriques nécessaires, notons qu'une déportation trop importante par rapport à une acquisition réalisée directement sous le capteur entraîne des effets de perspectives non négligeables (ombres, côtés des bâtiments, ...). Enfin, la présence d'un couvert nuageux peut aussi retarder l'acquisition (d'une journée à deux semaines) selon les caractéristiques d'orbite du satellite. Même s'il est possible de programmer des périodes d'acquisition, l'utilisateur maîtrise moins les conditions d'acquisition d'images satellites que, celles liées à l'acquisition de photographies aériennes (Merabe, 2013). Les capteurs sont les premiers éléments rencontrés dans une chaîne de mesure. Ils transforment les grandeurs physiques ou chimiques d'un processus ou d'une installation en signaux électriques au départ presque toujours analogiques. Cette transformation doit être le reflet aussi parfait que possible de ces grandeurs.

Les capteurs passifs transforment le mesurande en une variation d'impédance. Ils doivent toujours être associés à un circuit disposant d'une source de courant ou de tension et en général de plusieurs impédances additionnelles. Ce circuit est appelé le conditionneur. Il y a deux grands groupes de conditionneurs d'impédances. Dans le premier groupe, la variation de l'impédance du capteur est traduite par une variation de différence de potentiel. Dans le deuxième, la variation d'impédance est utilisée pour modifier la fréquence d'un oscillateur. (Lepoutre, 2017)

1.3.9. Les fonctions principales d'un système de vidéo surveillance

Les traitements effectués sont notamment : capter, transférer, traiter, visionner en direct ou a posteriori enfin archiver les images ou les vidéos.

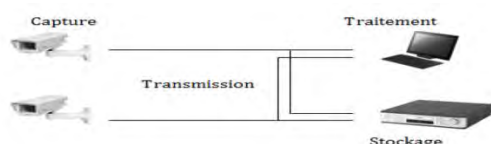


Figure 4: Fonctionnement de système de vidéo surveillance

1.3.10. Les caméras

La caméra est l'élément clé, son choix et son exploitation jouent un rôle majeur dans la qualité du système de vidéo surveillance. Les caméras peuvent être fixes ou mobiles (dôme, tourelle), visibles ou dissimulées, disposées de manière à s'auto protéger.

• Caméra Analogique

C'est la caméra dont le signal vidéo transite par un câble coaxial blindé. En bout de câble, seul un appareil disposant d'une entrée vidéo est capable d'interpréter et de recevoir ces images.



Figure 5: Caméra Analogique

• Caméra Numérique

La caméra numérique, effectue un codage du signal vidéo de l'image vue par la caméra et transforme le signal, en signal "numérique" exprimant le "codage" numérique de la vidéo. Ce type de caméra dispose pour la sortie de son signal, non pas d'une prise "vidéo" mais d'une prise "RJ45", appelée également prise réseau. En effet, il suffit de brancher cette caméra sur un réseau informatique, pour pouvoir ensuite la visualiser sur n'importe quel ordinateur sur le réseau (Lilya, Youghourta, 2013).



Figure 6: Caméra Numérique

13.11. Modèle corpusculaire

Au début du 20^e siècle, les travaux de Planck, Einstein, Bohr et d'autres ont montré que les propriétés d'émission et d'absorption peuvent être mieux comprises en supposant que la lumière est formée de quanta [5], la lumière n'est pas un écoulement continu, mais un flux d'un grand nombre de paquets, on dit qu'elle est quantifiée.

Donc ; la lumière peut s'interpréter aussi comme des « grains de lumière » appelés photons ; qui a une



certaine énergie associée avec eux. La mesure la plus courante de l'énergie d'un photon est l'électronvolt (eV).

Les photons qui voyagent dans des lignes droites sont appelés rayons ; ces rayons sont utilisés pour expliquer certains phénomènes en utilisant l'approche dite optique géométrique. Cette approche (décrite ultérieurement) est valable lorsque l'objet avec lequel la lumière interagit est beaucoup plus grand que la longueur d'onde de la lumière. La conception corpusculaire de la lumière permet de rendre compte des phénomènes optiques simples : propagation rectiligne, réflexion, réfraction et dispersion.

1.3.12. Mesure des propriétés de la lumière

Selon la conception mécaniste newtonienne, la lumière est formée par des particules très légères et de très grandes vitesses. Sa vitesse est égale à la longueur d'onde λ fois la fréquence N de sorte que $c = \lambda N$; avec $c = 3 \times 10^8$ m/s. par exemple ; si la fréquence est connue et on cherche la longueur d'onde, on utilise :

$$\lambda = c/N = 3 \times 10^8/N$$

La vitesse de propagation de l'énergie lumineuse dans les milieux transparents (le terme transparent fait référence ici à un milieu non absorbant) est toujours inférieure à c . En fait, dans ce type de milieux, la lumière interagit avec les molécules composant celui-ci. Entre chaque molécule, les photons voyagent à c , mais en interagissant, ils sont absorbés puis réémis.

L'indice de réfraction n est une grandeur sans dimension caractéristique d'un milieu, décrivant le comportement de la lumière dans celui-ci, il dépend de la longueur d'onde et des caractéristiques de l'environnement dans lequel se propage la lumière.

L'indice de réfraction d'un milieu est défini comme étant le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide c et sa vitesse dans ce milieu noté v : $n = c/v$

L'indice de réfraction est toujours supérieur ou égal à 1, par exemple :

n_{air} $\approx$ 1

• **n_{eau} = 1.33**

• **n_{verre} = 1.5**

La lumière se propage plus lentement dans un milieu dense que dans un milieu qui l'est moins, l'indice de réfraction rend compte de cet effet. [7]

✓ La relation entre l'énergie d'un photon et sa fréquence (ou longueur d'onde) est déterminée par la loi de Planck :

$$E = h \cdot N = h \cdot c / \lambda$$

Où $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J.s = 4.14 eV.s est appelé constante de Planck.

En terme de longueur d'onde (mesurée en micromètre) ; l'énergie en eV est donnée par : **E = 1.2406**

La détermination de la nature de la lumière fut l'objet de nombreuses controverses durant l'histoire. La description ondulatoire et l'optique géométrique, à

la limite de très faible longueur d'onde, sont adaptées à l'échelle macroscopique. En revanche, la description en termes de photons est plus adaptée à l'échelle microscopique (Wassila, 2018).

II. MATERIELS ET METHODES

2.1. SITE EXPERIMENTAL

2.1. Statut et missions

La Faculté des Sciences et Techniques a été créée par la Loi N°93-362-060 du 08 septembre 1993. Elle devient fonctionnelle par le décret N°96-362/P-RM du 30 décembre 1996. Elle a pour mission de :

- former des cadres moyens et supérieurs dans les domaines des sciences et techniques ;
- mener la recherche dans les sciences fondamentales et appliquées ;
- préparer des candidats pour les concours d'entrée dans des grandes écoles et instituts tels que l'École Nationale d'Ingénieurs (ENI), l'École Normale Supérieure (ENSup) et l'Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) de Katibougou.

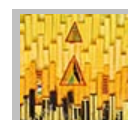
Pour réussir ses missions, la FST est organisée en 6 Départements d'Enseignement et de Recherche (DER) qui sont : le DER de biologie, de chimie, de géologie, de physique, de mathématique et de l'informatique.

2.2. Le Laboratoire d'Ecologie Tropical (LET)

Le Laboratoire d'Ecologie Tropical est une structure mixte entre la FST et l'Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) de Katibougou. Ce Laboratoire a une unité à Katibougou et une autre à la FST. Dans ce Laboratoire, plusieurs thèmes de recherche sont en cours d'exécution. Il s'agit entre autres :

- Étude des effets des facteurs anthropiques et climatiques sur le fonctionnement des écosystèmes de savane en Afrique de l'Ouest ;
- Étude de la biodiversité végétale des rivières du Mali-sud ;
- Étude de l'effet du changement climatique et de la gestion intégrée des ressources naturelles dans le Gourma ;
- Changement climatique et évolution des systèmes d'élevage au Mali

Par ailleurs, le Laboratoire d'Ecologie Tropicale (LET) entretient des relations de travail avec de nombreux laboratoires, institutions et Universités. Il a des relations de coopération avec l'Institut d'Économie Rurale (IER), le Centre Régionale de Recherche Agronomique de Sikasso (CRRAS), l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), l'USAID, la Direction Nationale des Eaux et Forêts (DNEF), la Chaire UNESCO pour l'Environnement, l'Université des Lettres et des Sciences Humaines de Bamako, les Universités de Colorado, d'Arizona et Sud Dakota des Etats-Unis d'Amérique Carte n°1 : Plan du parcellaire de



l'USTTB. (Source ICRISAT, 2003). 2.3. Dispositif expérimental L'expérimentation a eu lieu dans la cour de l'Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako d'une part et d'autre part dans une aire fermée. les caractéristiques de ces aires sont énumérés comme suite à savoir:

- Dans le milieu ouvert de 10.000 m² dont l'observation s'est réalisée sur une aire de 10 m de large sur 1000 m de longueur, en prenant une équidistance de 5m.
- Dans le milieu fermé de 25m² dont l'observation s'est réalisée sur une aire de 5m de côté sur 5m de côté en prenant une équidistance de 1m.

2.4. Description des sites expérimentaux

Milieu ouvert: Ouvert des quatre côtes, d'une aire bidimensionnelle de 10.000m² dans l'enceinte de l'université des Sciences, des techniques et des technologies de Bamako située à latitude 12,61 70 68, longitude -7,98 47 17 dans le terrain de football de la faculté des sciences et technique de Bamako. Milieux fermés: D'une superficie de 5x5 m², incluse dans une aire bidimensionnelle fermée dans laquelle, les observations se réalisent à l'aide d'un téléviseur d'écran 14". Les figures suivantes explicitent les modalités d'expérimentations.

Plans des essais

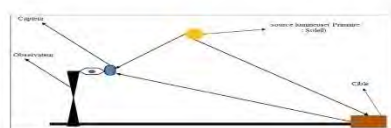


Figure 7 : schéma illustrant le modèle de prise d'image par le capteur dans un espace sans obstacle

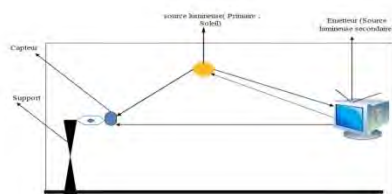


Figure 8: Schéma illustrant le modèle de prise d'image par le capteur dans un milieu fermé

2.4. MATERIELS

2.4.1. Matériel technique

Afin d'établir les paramètres d'identifications et la prise d'image par le capteur, les instruments suivants ont été utilisés.

- Un mètre ruban de 100m;
- Un observateur;
- Une voiture pour cible;
- un capteur (-Quartz hyalin)
- un téléviseur-écran 14",
- Ampoules, sources ponctuelles ;

- Ampoule, source étendue;
- Un terrain de football de 10.000m²
- Disque de confinement des faisceaux lumineux
- Une salle de 25m²

2.5. Méthodes

2.5.1. Détermination des distances minimales d'identifications nettes des images observées.

Afin de caractériser les paramètres d'observations qui déterminent les distances minimales et les facteurs d'identification, la formule suivante a été établie.

$$\frac{ds}{s} = \frac{dc}{d}, \quad ds \text{ (surface du capteur), } s \text{ (superficie à surveillée), } dc \text{ (diamètre du capteur), } d \text{ (distance qui sépare, le capteur et la cible).}$$

La caractérisation des paramètres d'observations a été saucissonnée en deux partitions. D'une part les expériences établies dans un milieu ouvert, sur une aire de 10.000 m² élaborées, à 10m, 15 m, 20 m selon une équidistance de 5m. D'autre part dans le milieu fermé il a été établi dans une aire de 25m², en suivant une équidistance de 1m jusqu'à atteindre la longueur de 5m séparent la cible observée et le capteur. Les figures suivantes illustrent le modèle explicatif de l'expérience

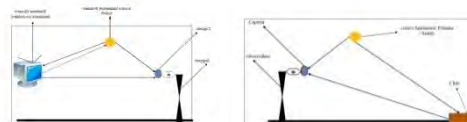


Figure 9: A gauche le milieu ouvert à droite le milieu fermé.

Le diagnostic a été réalisé conformément au protocole préétabli et sur une échelle de (1 à 5) ci-dessous : l'examen a porté sur les nettetés de l'image dans la capture :

Échelle:

1 = pas d'image

2 = 1 - 26% des partitions de l'image sont claires

3 = 26- 49% des partitions de l'image sont claires

4 = 50- 98% des partitions de l'image sont claires

5 = 98-100% des partitions de l'image sont claires

Les distances qui enregistrent des scores compris entre 1 et 2 sont considérées floues et ceux avec un score de 3 comme moyenne. Par contre, ceux qui enregistrent un score supérieur ou égale à 4 sont très nets.

2.5.2. Caractérisation des signaux des rayons lumineux à travers les types de sources ponctuelle ou étendue

Afin de comprendre, les modalités de propagation du flux lumineux, issues des sources primaires et secondaires. Aux mêmes égales, il fut élucidé les paramètres du flux lumineux, l'énoncé, des règles, des démarches scientifiques ont été établis de la façon suivante .



Collecte des informations nécessaires au renseignement des indicateurs de la prise de l'image dans le milieu ouvert.

Pour collecter l'information, il a été établi trois périodes de prises d'image et d'observation des cibles de façons aléatoires dans deux milieux différents.

D'une part un espace sans obstacle et d'autre part sous ou à proximité d'un arbre.

2.5.3. Détermination de la surface minimale (ds) qui établit l'image

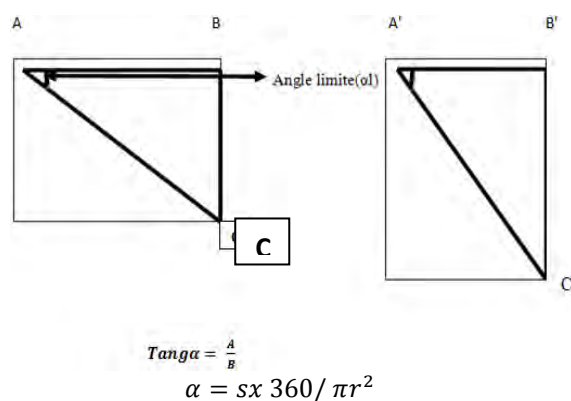
En géométrie la surface est l'ensemble des points compris dans le périmètre ou constituant la limite (d'une figure à deux ou trois dimensions), il existe une similitude entre la surface établie dans le capteur ou réceptrice et celle à surveiller. La similitude établie une relation angulaire qui est déduite de la formule suivante $\alpha = 180^\circ (n-2)$ afin d'identifier les angles d'observations limite ou l'angle qui ne doit ou ne peut être dépassé (α_l), dans les milieux fermés qu'ouverts.

2.5.4. Détermination correcte des superficies

Elle nous permettra, d'obtenir la superficie réelle de la surface à surveillée, en déterminant réellement le type de polygone. Cette activité nous établira au moins les polygones à travers ce qui suit: le triangle, à trois côtés; le quadrilatère, qui a quatre côtés et qui comprend comme formes particulières le carré, le losange, le rectangle, le trapèze et le parallélogramme; le pentagone, l'hexagone; l'octogone.

2.5.5. Détermination correcte des angles

L'identification de l'angle d'observation a insigné sur le capteur est déterminée par le rapport des cathètes pour les polygones carrés, rectangles, trapèze et les triangles isocèles, équilatéraux et rectangles. Cet angle limite (α_l), obtenu est soit aiguë ou obtus et déterminera le champ d'observation à distance dans un milieu fermé dont la surface angulaire établie est l'écran récepteur de l'image. Le schéma suivant saisira le modèle explicatif pour les polygones ci-dessous



2.5.6. Détermination des dimensions de l'image dans le récepteur

La détection de l'image dans le capteur est directement liée aux paramètres à surveiller ou objets(cible), la distance entre la cible, le capteur et le diamètre du capteur. Le modèle théorique est la suivante.

$$ds = \frac{sxdc}{d}$$

ds (surface du capteur),

s (superficie à surveiller),

dc (diamètre du capteur),

d (distance qui sépare, le capteur et la cible).

III. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Resultats des parametres observes

3.1.1. Fidélité du capteur

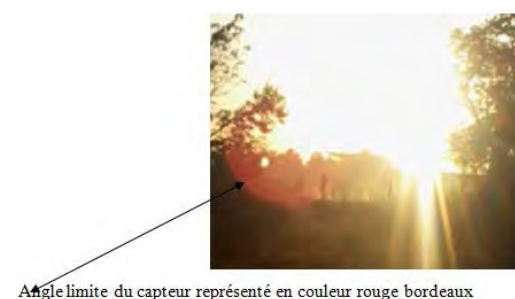
L'analyse de la conformité, exactitude, correspondance avec la réalité, a été effectuée afin de classer les résultats obtenus selon les distances d'observations de la cible, en fonction des scores établis.



Figure 10: Image échelle 1 et 3,5 floue Image échelle 4 et 5 fidèle

Source cliché (CAMARA, 2019)

Afin d'établir les qualités visuelles de l'image du capteur la photo ci-dessous nous saisie en rouge bordeaux une prise d'image du capteur.



Angle limite du capteur représenté en couleur rouge bordeaux

Figure 11: Schéma illustrant le modèle de prise d'image par le capteur dans un espace sans obstacle l'image à gauche dans le cercle rouge bordeaux.

Source (cliché CAMARA, 2019)

3.1.2. Les informations nécessaires obtenues à travers les indicateurs de la prise de l'image dans le milieu fermé et ouvert

Cette activité nous a permis d'avoir plusieurs informations qui caractérisent les paramètres de l'image à travers le capteur.



3.1.2.1. Détermination des indicateurs de la prise de l'image dans les milieux fermés et ouverts.

La caractérisation de la variable qui optimise la détection et l'identification nette des objets dans le cadre de la surveillance à distance est parfaitement contrôlée par la lumière.

Les images suivantes illustrent ces observations entre trois temps de 7h 30 à 12h et de 12 à 16 h 30 à 20h 4s à travers une source naturelle le soleil et deux sources polarisées ponctuelles et étendues. Les figures suivantes établissent le modèle de rayon lumineux.

Les photos suivantes illustrent ces paradigmes

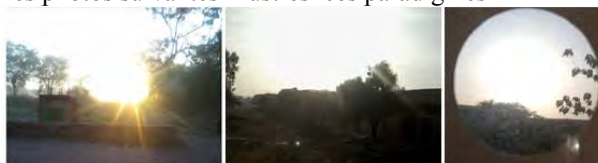


Figure 12: Confinement du faisceau lumineux à travers une direction



Source ponctuelle

Source étendue

Figure 13: Les photos suivantes caractérisent le modèle de rayonnement des flux lumineux source ponctuelle et étendue

Source (Cliché CAMARA, 2019)

Les observations ont établi qu'entre le capteur et la cible, on peut dénombrer quelques partitions du flux lumineux de la source primaire à la source secondaire vers le capteur. Ce lien se traduit d'une part par le saucissonnement du flux lumineux en au moins en trois faisceaux lumineux dans les milieux fermés, d'autre part en au moins six faisceaux lumineux à travers le capteur dans les milieux ouverts. En revanche, l'analyse des flux lumineux a permis de détecter trois spectres lumineux dont la variation de l'intensité ou de la phase du rayonnement résulte de la distribution continue du rouge, du vert et du bleu en forme d'entonnoir vers l'image observée. En outre plus l'observateur s'éloigne de la cible en maintenant le capteur dans la même direction, les résultats montrent que, la netteté de l'image se précise jusqu'à environ 1 km de la cible plus précisément à 985 m, l'image devient nette dans le capteur. Cependant il faut rappeler qu'entre 10 à 45 m l'image est floue et présente des taches blanches qui occupent les presque totalités de son cadrage et cela pendant la journée. Cependant, les observations de l'image à travers le miroir au cours de la nuit ont établi des taches se transformant en des petits points simples pour une cible ne provenant

pas d'un écran animé et pour un écran animé ces taches clignotent en laissant de place aux zones d'ombre et souvent aux zones claires.

- **Détermination des distances minimales d'identifications nettes des images observées.**

Les modalités des distances minimales d'identification ont été établies à travers la relation d'interdépendance entre la surface du capteur, la superficie à surveiller d'une part et d'autre part le diamètre du capteur et la distance qui sépare le capteur et la cible. Le tableau suivant montre les résultats obtenus.

Tableau 1: Scores des nettetés

DISTANCE (m)	Netteté (1 à 5)	Angle limite d'observation ($\alpha=0,02^\circ$)
5	1	($\alpha=0,02^\circ$)
10	1	($\alpha=0,02^\circ$)
15	2	($\alpha=0,02^\circ$)
20	3	($\alpha=0,02^\circ$)
25	3	($\alpha=0,02^\circ$)
30	3	($\alpha=0,02^\circ$)
35	3	($\alpha=0,02^\circ$)
40	3	($\alpha=0,02^\circ$)
45	3	($\alpha=0,02^\circ$)
50	3	($\alpha=0,02^\circ$)
55	3	($\alpha=0,02^\circ$)
60	3	($\alpha=0,02^\circ$)
65	3	($\alpha=0,02^\circ$)
70	3,5	($\alpha=0,02^\circ$)
75	3,5	($\alpha=0,02^\circ$)
80	4	($\alpha=0,02^\circ$)
85	4	($\alpha=0,02^\circ$)
90	4	($\alpha=0,02^\circ$)
95	5	($\alpha=0,02^\circ$)
100	5	($\alpha=0,02^\circ$)

Les mesures de la netteté dans les essais au cours de nos expériences à la date du 18/09/2019 ont montré deux seuils de fidélités (d'après l'échelle) selon les distances établies à travers l'angle limite d'observation $\alpha=0,02^\circ$.

Pour l'expérience conçue dans le milieu ouvert, sur une aire de 10.000 m² le capteur a établi une image fidèle à la cible observée à l'échelle 4 et 5. Par contre toutes les images élaborées par le capteur à l'aide



des autres distances établies sont à l'échelle comprise entre [1 3,5].

- **Détermination de la surface minimale (ds) qui établit l'image**

Tableau 2: Scores surface d'observation

DISTAN CE (m)	Nettet é (1 à 5)	Rayon (cm)	Surface d'observatio n (cm ²)
5	1	10	0,017
10	1	10	0,017
15	2	10	0,017
20	3	10	0,017
25	3	10	0,017
30	3	10	0,017
35	3	10	0,017
40	3	10	0,017
45	3	10	0,017
50	3	10	0,017
55	3	10	0,017
60	3	10	0,017
65	3	10	0,017
70	3,5	10	0,017
75	3,5	10	0,017
80	4	10	0,017
85	4	10	0,017
90	4	10	0,017
95	5	10	0,017
100	5	10	0,017

- **Détermination correcte des superficies**

Tableaux 3: Score Superficie a surveillée

DIST ANC E (m)	Nette té (1 à 5)	Rayon (cm)	Surfac e d'obse rvatio n (cm ²)	Superficie a surveillée
5	1	10	0,017	0,017
10	1	10	0,017	0,017
15	2	10	0,017	17
20	3	10	0,017	25
25	3	10	0,017	45
30	3	10	0,017	50
35	3	10	0,017	52
40	3	10	0,017	55
45	3	10	0,017	57

50	3	10	0,017	58
55	3	10	0,017	59
60	3	10	0,017	60
65	3	10	0,017	61,5
70	3,5	10	0,017	80
75	3,5	10	0,017	82
80	4	10	0,017	90
85	4	10	0,017	95
90	4	10	0,017	98
95	5	10	0,017	98,5
100	5	10	0,017	99,8

- **Détermination correcte des angles**

Tableau 4: Score Angle d'observation

DISTA NCE (m)	Nettet é (1 à 5)	Rayon (cm)	Surface d'obser vation (cm ²)	Angle d'obse rvatio n
5	1	10	0,017	0,5°
10	1	10	0,017	0,5°
15	2	10	0,017	0,5°
20	3	10	0,017	0,5°
25	3	10	0,017	0,5°
30	3	10	0,017	0,5°
35	3	10	0,017	0,5°
40	3	10	0,017	0,5°
45	3	10	0,017	0,5°
50	3	10	0,017	0,5°
55	3	10	0,017	0,5°
60	3	10	0,017	0,5°
65	3	10	0,017	0,5°
70	3,5	10	0,017	0,5°
75	3,5	10	0,017	0,5°
80	4	10	0,017	0,5°
85	4	10	0,017	0,5°
90	4	10	0,017	0,5°
95	5	10	0,017	0,5°
100	5	10	0,017	0,5°

Figure 14:Caractérisation de l'angle limite de prise d'image dans un milieu fermé ou ouvert, secteur angulaire. L'angle d'observation caractérise la surface utile d'observation à travers le capteur du disque qui fonctionne à la limite sur 360°. Les tableaux suivants font ressortir quelques valeurs ajoutées et avantages économiques du nouveau dispositif de surveillance.

Tableau 5: caractérisation de la valeur ajoutée



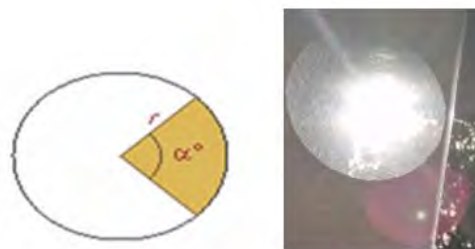
Valeur ajoutée
Vue à 360°
La technologie ne possède pas d'angle mort
Le coût très abordable
Technique sahélien car sa source d'allumination est le rayon solaire pendant la journée dans les milieux ouverts et polarisé dans les milieux fermés
Diminution de la dépendance des technologies de la surveillance importées.
La technologie ne dépend pas d'électricité pour son fonctionnement

Tableau 6: caractéristiques de quelques avantages économiques

Activités	Avantage
Agriculture	Vision claire afin de protéger les fermes, champs et surveillance de la dynamique des occupations de l'environnement. Réduction des dépenses de surveillance des systèmes agricoles sahéliens.
Villes et campagnes	Limiter les vols, agressions, actes de vandalisme.
Commerce	Avoir un œil aussi bien sur les entrées et sorties dans votre magasin, que les caisses, les stocks, Réduction des dépenses de surveillance/gardiennage
Industrie	Avoir un œil sur le mouvement des ouvriers. Réduction des dépenses de surveillance Limiter les vols, agressions, cambriolage.

La technologie présente plusieurs avantages notamment dans les activités de commerce, d'industrie et surtout de l'Agriculture. Quelle que soit l'activité, il s'agit d'avoir une vision globale et pointue, efficace et efficiente sur l'endroit afin de limiter les désagréments (Vols, Agressions, Actes de vandalisme...). En plus de leurs efficacités, ces implications ont sans doute un impact considérable sur les dépenses consacrées à la surveillance de nos différents services.

Au Mali, les sociétés de gardiennage utilisent les personnes pour surveiller des centres commerciaux, des fermes et autres services ; avec l'insécurité grandissante dans le sahel, cette technique devient de plus en plus coûteuse et moins efficace. (Par exemple après les attaques (vols, agressions) il est impossible de pister les assaillants. L'installation d'un dispositif de surveillance à distance est un investissement qui s'amortit avec le temps. Cependant les charges du personnel de surveillance augmentent avec le temps.



Source (Cliché CAMARA, 2019)

$$s = \frac{\pi r^2 \alpha}{360}$$

Figure 15 : Modèle de présentation de l'angle limite dans la capture d'image

Ce résultat est conforme à ceux obtenus par Hawraa, 2006 dans ses travaux sur l'automatique et Traitements du Signal. À travers lesquels, il a établi que le nombre d'ouvertures est inversement proportionnel au diaphragme. Plus le diaphragme est ouvert (grand diamètre), plus la quantité de lumière est grande (image lumineuse) et plus le nombre d'ouvertures est petit plus la profondeur du champ augmente. La profondeur du champ est la zone de netteté.

• Détermination des dimensions de l'image dans le récepteur

Tableau 5: Score dimension de l'image

Distance (m)	Netteté (1 à 5)	Rayon (cm)	Surface d'observation (cm²)	Angle d'observation	Dimension de l'image
5	1	10	0,017	0,5°	5 cm
10	1	10	0,017	0,5°	5 cm
15	2	10	0,017	0,5°	5 cm
20	3	10	0,017	0,5°	5 cm
25	3	10	0,017	0,5°	5 cm
30	3	10	0,017	0,5°	5 cm
35	3	10	0,017	0,5°	5 cm



40	3	10	0,017	0,5°	5 cm
45	3	10	0,017	0,5°	5 cm
50	3	10	0,017	0,5°	5 cm
55	3	10	0,017	0,5°	5 cm
60	3	10	0,017	0,5°	5 cm
65	3	10	0,017	0,5°	5 cm
70	3,5	10	0,017	0,5°	5 cm
75	3,5	10	0,017	0,5°	5 cm
80	4	10	0,017	0,5°	5 cm
85	4	10	0,017	0,5°	5 cm
90	4	10	0,017	0,5°	5 cm
95	5	10	0,017	0,5°	5 cm
100	5	10	0,017	0,5°	5 cm

3.1.3. Identifier les propriétés de détermination des paramètres observés

✓ Caractérisation des partitions qui composent le dispositif du capteur

Le schéma suivant explicite les partitions du dispositif du capteur

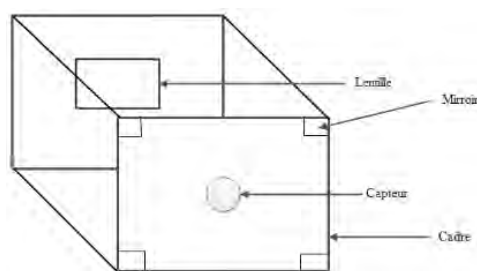


Figure 16: Caractérisation des partitions du dispositif du capteur cadre cubique

-Le cadre étant une partition des sept systèmes cristallins dont le capteur et la lentille sont équistants et opposés et les miroirs sont implantés dans les diagonaux pour le système cubique.

-Le capteur reproduit visuellement le produit transporté par la lumière qui est confiné par la silice.

-Les miroirs conditionnent le flux lumineux pour maximiser les rayons lumineux autour du capteur.

-La lentille conditionne et agrandit la taille de l'image

3.1.4 Caractérisation du fonctionnement du capteur

- Première phase de la propagation

La production de l'image fait intervenir différents processus physiques.

La source de l'image provient de l'objet qui émet un flux lumineux. Ce flux lumineux va traverser la

phase convexe du capteur pour afin inverser l'image de l'objet.

- Deuxième phase de la propagation

L'image renversée étant éliminée va ensuite propager les rayons lumineux qui vont traverser la face concave du capteur et sera renversée de nouveau sur la face convexe du capteur et sera droite. Cet ensemble agit comme un filtre, considéré comme linéaire, dont la réponse comporte des fréquences de résonance caractérisées par des pics, dans le spectre du signal de sortie.

Le signal résultant est globalement non stationnaire, mais peut être considéré

comme stationnaire sur de très courtes périodes. La figure suivante caractérise la composition du miroir plan, du capteur, cadre, et leur dimension.

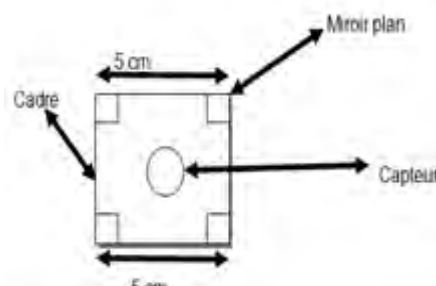


Figure 17: Schéma vu de face, du capteur composition du dispositif de récepteur

3.1.5. Proposition d'une théorie explicative du fonctionnement du capteur

L'analyse du rayonnement du rayon lumineux, entre l'interface air et le récepteur montre que, la différence des indices de réfraction air et verre établira l'indice de l'angle d'incidence qui vaut $dm = 1,5 - 1 = 0,5$. Cette valeur sera l'indice qui conduira la propagation du rayon lumineux suivant une direction rectiligne, du point A qui est tangent à la normale au point d'entrée du rayon lumineux, jusqu'au point A' où l'angle d'incidence sera $1,5 - 0,5 = 1$; l'angle de réflexion sera le point lumineux ou l'écran à travers laquelle l'image sera établie. Deux cas expliciteront le modèle de développement de l'image dans le cristal, il s'agit entre autres:

L'analyse de l'observation des rayons lumineux à travers le cristal à révéler les résultats aux travers laquelle, quelques comportements des rayons lumineux ont été établis comme suit.

a) Le faisceau lumineux en quittant le milieu d'origine air d'indice $n=1$, pour sa propagation dans le milieu 2 verres d'indice $n=1,5$. L'indice de réfraction se résume donc à $dm = 1 - 1,5 = 0,5$, qui réduira très fortement la réfraction dans le verre. Le faisceau se propagera jusqu'à atteindre le point opposé qui constituera l'écran sur laquelle l'image se formera avec un diamètre qui sera égal au double de celle établie comme l'angle de réfraction, et cela, si la propagation n'est pas inhibée. Ce résultat est analogue à celui établi par John Tyndall dans ses



travaux sur le comportement de la lumière à travers un jet d'eau en 1870 au cours de laquelle il a démontré, qu'il est possible de contrôler, confiner la lumière et de la propager suivant une direction privilégiée. Ce modèle s'établit, si la direction de propagation des faisceaux lumineux se dirige dans une même direction sur un substrat homogène. Dans ce cas, l'image s'établira à la limite de l'interface air-verre de la face opposée qui constituera l'écran et explicitera des zones d'ombres et des zones claires, ce qui rendra floue l'image. En revanche, lorsque la surface (Ds) ou angulaire se coïncide avec l'inhibiteur la propagation s'interrompt et l'image sera totale et nette. D'autre part si l'inhibiteur se trouve à une distance qu'elle soit minimale ou non entre l'interface air et verre du rayon incident quittant l'interface air, le rayon lumineux est conduit à travers le substrat homogène comme un dipôle. Lorsque le rayon atteint l'inhibiteur, il se crée une réflexion totale due aux phénomènes de l'angle limite au arcsin qui est égale au double de l'angle d'incidence qui formera l'écran à travers lequel l'image s'affichera avec une visibilité nette. Ce résultat n'est pas antinomique à ceux établis par (Aurelier, 2010) qui a identifié de manière simple trois grands types de mécanismes de confinement de la lumière, à savoir la réflexion totale interne, la réflexion totale interne modifiée et le guidage par bandes interdites photonique

3.1.6. Elaboration du schéma explicatif de la détection des paramètres de l'image

3.1.6.1. Propagation et grossissement de l'image RTI

Le schéma suivant établira le modèle d'agrandissement de l'image dans le capteur selon nos expériences à travers le confinement du faisceau lumineux.

Dont l'aire de propagation est issue de la réflexion totale qui dérive, du fait que le milieu est composé de deux matériaux différents.

La théorie s'établit de la manière suivante dont le modèle explicatif est saisi comme suit :

$$n_1 \sin \phi_1 / n_2 \approx \phi \text{ angle réfraction} \\ \rightarrow 2\phi \text{ angle réfraction} \approx 2\phi \\ \rightarrow \text{RTI}$$

le schéma suivant présente l'aire de propagation de la réflexion totale interne

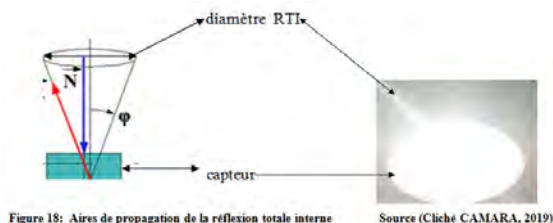


Figure 18: Aires de propagation de la réflexion totale interne

Source (Cliché CAMARA, 2019)

IV. CONCLUSION

Au terme de ces travaux, les résultats obtenus ont permis une compréhension claire, sur la

méthodologie de caractérisation de la netteté des images établies par le capteur, à travers les types d'images caractérisées comme suites: image à échelle 1 et 2 avec une netteté floue, Image à échelle 4 et 5 avec une netteté fidèle.

Ainsi à la lumière de l'énumération successive des facteurs, qui sont entre autres: la structure spatiale dont le modèle est caractérisé par le rayonnement des flux lumineux, source ponctuelle et étendue, le recouvrement établi par l'angle limite du capteur représenté en couleur rouge bordeaux et le confinement du faisceau lumineux à travers une direction. Différentes formules ont été élaborées pour caractérisées les aires et sont respectivement entre autres: la surface du capteur, est proportionnelle à la superficie ou l'objet à surveiller est $\frac{ds}{s} = \frac{dc}{d}$, la distance entre la cible, le capteur et le diamètre du capteur $ds = \frac{s \times dc}{d}$. En définitif, il en ressort que l'aire de propagation de la réflexion totale interne est $\frac{n_1 \sin \phi_1}{n_2} \approx \phi \text{ angle réfraction} \rightarrow 2\phi \text{ angle réfraction} \approx 2\phi \rightarrow \text{RTI}$, l'angle limite dans la capture d'image s'établit et vaut $S = \frac{\pi r^2 \alpha}{360}$, il commande les caractéristiques de l'image établies par le capteur.

BIBLIOGRAPHIE

Aurélien, B. 2010. Thèse de doctorat Spécialité << Optique et lasers >> caractérisation de nouvelles fibre optique à cristal photonique dites hybrides et application à l'optique non linéaire.

Hawraa, 2006. Thèse Pour obtenir le grade de docteur de l'université de Grenoble spécialité : nanoélectronique et nanotechnologies, Traitement d'images bas niveau intégré dans un capteur de vision CMOS.

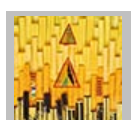
Tyndall 1870 cité par Aurélien, B. 2010. Thèse de doctorat Spécialité << Optique et lasers >> caractérisation de nouvelles fibre optique à cristal photonique dites hybrides et application à l'optique non linéaire.

Lilya, Youghourta, B.O. 2013. Mémoire de master Conception et Réalisation d'une application pour l'administration et la gestion de Vidéo Surveillance IP Cad'Etude Sonatrach Page 6

Lepoutre, F. 2017. Principes généraux des capteurs

Malik, H. 2004. Thèse, croissance d'un microcomposant en bout de fibre optique par photo polymérisation présentée dans le cadre de l'école doctorale EMMA pour l'obtention du grade de Docteur de l'Université de Metz mention Physique.

Méribet, Y. 2013. Segmentation d'images couleur par combinaison LPE-régions/LPE-



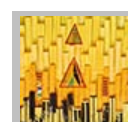
contours et fusion de régions. Application _a la segmentation de toitures _a partir d'orthophotoplans

Mohamed, F. 2017. Les capteurs acquérir l'information

Wassila, B. 2018. Thèse Pour l'obtention du diplôme de Doctorat 3ème cycle LMD Option : Réseaux Architecture et Multimédia, Etude de conception d'une chaine de transmission optique à très haut débit à base de semi-conducteur du type III-Nitrures.

Xuan, H. 2016. Thèse, étude et caractérisation de composants d'optique intégrée exploitant les propriétés électro-optiques d'oxydes fonctionnels épitaxiés.

Yolande, M. 2012. Thèse pour obtenir le grade de docteur délivré par TELECOM Paris Tech Spécialité « Communications électroniques » Capteurs à fibres optiques répartis par effet Brillouin : Séparation de la dépendance à la température et à la déformation



Apport des SIG dans la gestion des boues de vidanges dans la commune IV de Bamako

Fatoumata Maiga¹, Hamadoun Traore¹, Sekoumar Diarra² et Souleymane Bengaly¹

¹ Faculté d'Histoire et de Géographie de l'Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako

² Laboratoire Hommes-Peuplements-Environnements

E-mail : fsamba2004@gmail.com

RESUME : Depuis quelques décennies, la population de Bamako s'accroît à un rythme remarquable. Elle est passée de 129 000 habitants en 1960 à 1 016 167 en 1998 pour atteindre 1 809 106 habitants en 2009 (INSTAT, 2009). Cette forte augmentation entraîne une production d'énormes quantités de boues issues des ouvrages d'assainissements autonomes dont la gestion pose problème. La précarité des conditions d'hygiène, l'insuffisance des sites aménagés et l'absence de filières de récupération et de traitement, les boues de Bamako sont déversées de manière anarchique dans les collecteurs à ciel ouvert, dans les rues et/ou dans la nature. Il en résulte une contamination des sols et une pollution des eaux par ruissellement. L'objectif est de déterminer l'apport des SIG dans la gestion de boues dans la Commune IV de Bamako. Des observations et des enquêtes ont permis de collecter les informations auprès des acteurs impliqués dans le processus de gestion (producteurs, opérateurs, services techniques). Les outils utilisés dans le traitement des données sont : KoBoCollect, SPSS, QGIS, WORD. Les résultats ont montré que 98% des ménages sont dotés de latrines familiales (19% de latrine traditionnelle, 35% de moderne et 46% de traditionnelle améliorée). A partir de l'utilisation de la formule de KOANDA (2004), une production de boues estimée à 51 873 m³/an a été constatée avec un taux d'évacuation mécanique de 60%. L'analyse des résultats mentionne aussi que 97% des enquêtés pratiquent la vidange mécanique. Il ressort également que la destination de boues reste encore préoccupante pour l'absence de sites aménagés pour le dépôtage.

Mots clés : SIG, Gestion, Boue de vidange, Bamako

I. INTRODUCTION

Depuis plusieurs décennies, de nombreuses villes africaines sont confrontées à une urbanisation croissante. En Afrique de l'Ouest par exemple, la population est passée de 40 millions d'habitants en 1930 à 300 millions en 2006 (OCDE, 2007, p 11) pour atteindre 960 millions en 2014 (AGNES et Le GOLF, 2014, p 9) et 1,216 milliard en 2016 (Wikipédia, 2019). Cette forte population, dans la plupart des cas, se concentre essentiellement dans les villes et façonne de plus en plus le paysage économique, politique et social. De 1950 à 2010, le nombre d'agglomérations urbaines en Afrique de l'Ouest est passé de 152 à près de 2 000 ; abritant 41% de la population totale de la région (MORICONI, F. et *al.*, 2015, p 94). Il en résulte un besoin accru des services sociaux de base dont l'assainissement occupe une place centrale.

Du fait de l'étalement des villes et de l'allongement des distances de déplacement, l'évacuation des déchets s'avère problématique pour les producteurs. En 2014, selon l'étude de CPS (2014, p 16), 44% de ménages bamakois disposent d'un équipement sanitaire autonome avec une production de déchets liquides estimée à 74 874 m³/jour (MAIGA F., 2012, p 19). Les boues de vidanges représentent 2,19% de cette production soit une estimation de 600 000 m³/an (DNACPN, 2006, p 4). L'évacuation de cette

importante quantité de déchets pose un sérieux problème en termes de transport et de dépôtage.

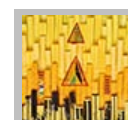
Aujourd'hui, avec l'urbanisation, le district de Bamako ne dispose qu'une décharge provisoire de boue de vidange située dans la Commune VI. Ainsi, on assiste aux rejets des effluents dans les rues, dans les cours d'eau et dans le milieu naturel sans aucun traitement préalable. Cela prouve à suffisance qu'un besoin réel de gestion de boues de vidange à Bamako existe. Une réalité qu'il partage avec d'autres secteurs de l'assainissement. Les systèmes d'information géographique (SIG) constitue un outil efficace dans la résolution du problème.

Eu égard à cette importance que prennent les SIG dans les prises de décisions que notre se donne comme objectif de mettre en place un outil de gestion des boues de vidange dans la commune IV du District de Bamako à travers une spatialisation des données et leurs analyses.

II. CADRE D'ETUDE

2.1 Situation géographique

Située entre les longitudes 8°5' et 8°0' W et les latitudes 12°40' et 12°34' N, la commune IV est l'une des six communes composant le district de Bamako. Elle occupe la partie Ouest de Bamako et couvre une superficie de 37,68 km² soit 14,11% de la superficie du district (figure 1). Elle est



limitée à l'Ouest par la commune de Dogodouman et celle du Mandé, à l'Est et au Sud par le fleuve Niger et au Nord par la Commune III (KEITA, 2010, p 19). La commune IV est composée de 8

quartiers à savoir : Djicoroni-Para, Hamdallaye, Kalabambougou, Lafiabougou, Lassa, Taliko, Sébéninkoro et de Sibiribougou qui constituent des entités distinctes les unes des autres.

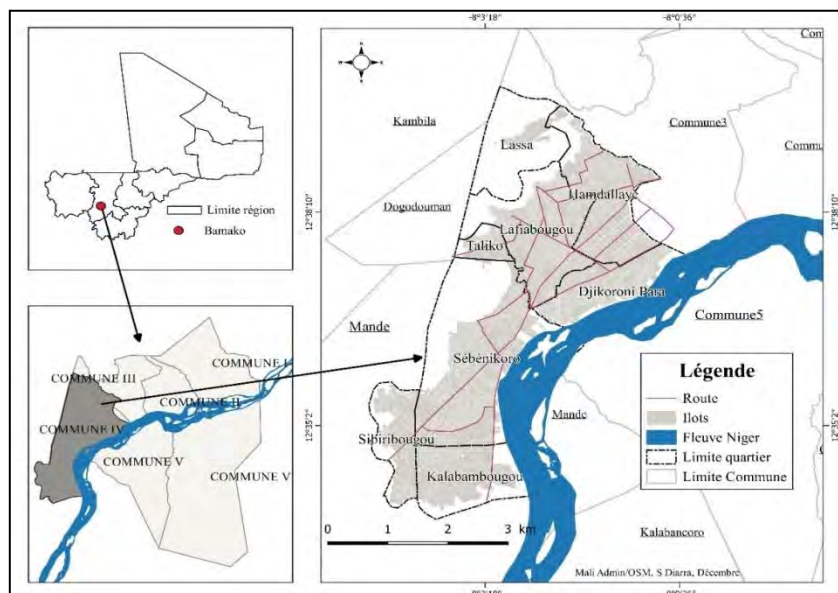


Figure 1: Zone d'étude
Source : Source personnelle, 2019

Le relief se caractérise par des plaines et des collines couverts de sols graveleux peu profonds et de latérite. Dans les grandes dépressions, les sols sont souvent argileux et presque toujours hydromorphes. Les altitudes de la zone oscillent entre 315 et 522 mètres. Le climat est marqué par l'alternance de deux saisons : la saison pluvieuse et la saison sèche. La pluviométrie moyenne est comprise entre 987 et 1 025 mm/an. Le vent dominant est l'harmattan soufflant du Nord-Est vers le Sud-Ouest en saison sèche et la mousson présente en hivernage avec une direction Sud-Ouest/Nord-Est. C'est pendant cette période hivernale que la gestion des boues de vidange posent plus de difficultés liées à leurs quantités.

En plus des collecteurs artificiels, plusieurs cours d'eaux sont présents dans la commune. Il s'agit du Diafaranako, du Woyowayanko, du Kodialani et du fleuve Niger tous utilisés comme depotoires occasionnels.

2.2 Situation démographique et socioéconomique

Au premier recensement général de la population, la commune IV est passée d'un effectif de 92 867 habitants en 1976 à 137 402 habitants en 1987. En 1998 elle est passée de 186 200 habitants à 304 526 habitants en 2009 avec un taux d'accroissement naturel de 4,4% pour atteindre 407 074 habitants

en 2018 selon une étude estimative de la DNI (DIARRA S., 2019, p 21). Avec un effectif de 18 % de la population totale du district de Bamako, la commune IV abrite différents groupes ethniques composés essentiellement de : Bambaras, Bobos, Bozos, Dogons, Peuls, Soninkés et de Malinkés.

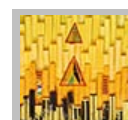
III. APPROCHE METHODOLOGIQUE

L'approche méthodologique adoptée s'articule autour de trois axes. Le premier porte sur la conceptualisation comprenant la définition, les objets observés, les unités d'observations et les nomenclatures. Cela nous a permis d'envisager une vision commune et appropriée par l'ensemble des acteurs et les utilisateurs du système d'information. Le second a trait à l'opérationnalisation du système. Le troisième concerne les enquêtes de terrain pour identifier, géo-référencer et décrire l'état des objets.

3.1 Méthodes

3.1.1 Modèle conceptuel des données

A l'issue de la conception, huit (8) classes sont retenues. Il s'agit de la commune, des quartiers, des ménages, des opérateurs de vidange, des camions spiros, des routes, de dépôt et du site de dépôt (figure 2). Chaque classe possède des informations qui lui sont propres, malgré l'interrelation entre les classes.



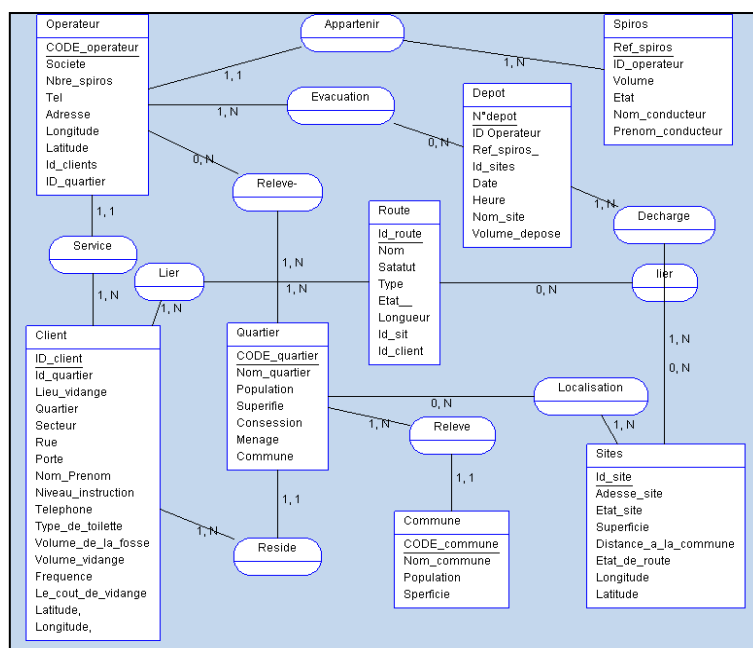


Figure 2: Schéma conceptuel de données

Source : Source personnelle, 2019.

3.1.2 Echantillonnage

La taille de l'échantillon est déterminée par la formule de GABERT J. (2018, p 714) qui suit :

$$n = \frac{t_p^2 * P(1 - P) * N}{t_p^2 * P(1 - P) + (N - 1) * y^2}$$

Avec :

n : taille de l'échantillon.

N : taille de la population cible

P : proportion attendue d'une réponse de la population ou proportion réelle. Elle est estimée à 50% si la proportion n'est pas déterminée par d'autres études.

t_p : intervalle de confiance d'échantillonnage.

y : marge d'erreur d'échantillonnage.

Elle est déterminée à partir de la population cible. Nos investigations ont permis de dénombrer 2958 îlots dans la commune IV. Selon la formule citée ci-dessus, la taille de l'échantillon s'élève à 340 îlots dans lequel un répondant par concession avec la marge d'erreur 5% et l'intervalle de confiance 95% a été questionné. La technique d'échantillonnage stratifié a été utilisée pour le choix des concessions considérées pour l'enquête. Les concessions à enquêter sont choisies par la méthode aléatoire dans le logiciel QGIS. Chaque individu de l'échantillon est généré de façon ponctuelle avec des coordonnées géographiques qui ont permis de concevoir le projet SIG mobile. Cela a facilité la localisation des individus sur le terrain. La collecte des informations au niveau des ménages est effectuée à l'aide d'un questionnaire

introduit dans une application Open Source de collecte des données.

3.1.3 Collecte des données

La collecte des données s'articule autour de la géolocalisation des dépôts de boues de vidanges, de l'identification des itinéraires et les sources de production. Les données sont obtenues à travers des enquêtes auprès des chefs de ménages et le routage des camions de vidange. À l'absence du chef de ménage, la personne disponible dans le ménage a été interviewée selon son consentement. Les données obtenues ont été structurées et stockées dans une base de données relationnelles. Pour la quantification des boues produites et évacuées dans la commune, les équations de KOANDA, (2006, p 248) ont été utilisées. Elles sont basées sur la production spécifique des latrines et des fosses septiques (0,3 litre/jour/habitant pour les latrines traditionnelles et 1 litre/jour/habitant pour les fosses septiques) sur le nombre de rotations effectuées par camion et par jour, sur le volume vidangé par rotation, sur la fréquence moyenne de vidange des fosses et la proportion de la population ayant recours au service des camions. Pour la quantification de boues produite et vidangées, KOANDA a élaboré les équations suivantes :

Pour de boues produites :

$$Q = 365 * (P_{LS} * \frac{q_{LS}}{1000} + P_{FS} * \frac{q_{FS}}{1000})$$

- Q (m^3/an) est la quantité totale de boues produite ;



- PLS est le nombre de personnes utilisant les latrines traditionnelles ;
- qLT(l/j/habitant) est la production spécifique de boues pour une latrine traditionnelle ;
- PFS est le nombre de personnes utilisant les Fosses Septiques(FS) ;
- qFS (l/j/habitant) est la production spécifique de boues pour une Fosse Septique.

Pour de boues vidangées :

$$Q_{méc} = N * \frac{P_{méc}}{F_{méc}} * V_i * n_i$$

- Qmec [m³/an] est la quantité de boues vidangées mécaniquement
- N est le nombre total d'ouvrages existant dans la localité ;
- Pmec [%] est la proportion d'ouvrages vidangés mécaniquement ;
- fmec [an] est la fréquence de vidange des ouvrages vidangés mécaniquement
- vi [m³/rotation] est le volume utile du camion (dans les cas où il y aurait plusieurs camions, prendre la moyenne des volumes utiles)
- ni [rotations/ouvrage] est le nombre de rotations nécessaires pour vider un ouvrage d'assainissement de type i. Il se calcule en rapportant le volume utile du camion au volume moyen de l'ouvrage en question.

3.2. Matériels

3.2.1 Outils de travail

Pour la réalisation de l'étude, les outils de recherche utilisés sont les Smartphones équipés d'un récepteur GPS, l'Access, le Qgis, l'Excel, les équations de KOANDA

$$(Q = 365 * (P_{LS} * \frac{q_{LS}}{1000} + P_{FS} * \frac{q_{FS}}{1000})) \text{ et}$$

$$(Q_{méc} = N * \frac{P_{méc}}{F_{méc}} * V_i * n_i) \text{ et le Word.}$$

3.2.2 Analyse des données

A l'issue de la constitution de la base de données géographiques sur l'état de la gestion de boues de vidange, des traitements cartographiques qualitatifs et quantitatifs ont été réalisés. Ces traitements sont effectués par les méthodes d'analyse spatiale et statistique. Cela a permis la réalisation des graphiques.

IV. RESULTATS

4.1 Etat des lieux des ouvrages d'assainissement dans la commune IV

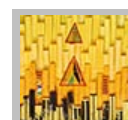
Les résultats ont montré que 98% des ménages de la Commune IV possède une latrine. Les latrines traditionnelles sont majoritaires avec 46%, suivie des latrines traditionnelles améliorées (35%) et des toilettes modernes avec fosse septique (19%). Les types d'ouvrages d'assainissement des concessions familiales demeure les latrines traditionnelles soit 46%. Les latrines traditionnelles sont des ouvrages construits en banco ou en ciment avec une fosse de stockage au droit du trou de défécation.

Diverses attitudes ont été développées par les populations par rapport à l'entretien des fosses. Cependant, les systèmes de vidanges manuelle (3%) et mécanique (97%) sont adoptés respectivement par un membre de la concession ou par les camions spiros d'une capacité de 10 à 15m³.

Les résultats indiquent que 15% des latrines sont vidangées au moins deux fois par an, 19% une fois par an et une proportion relativement importante soit 24% sont vidangées une fois chaque deux ans. Par contre 21% des ménages font 2 ans sans faire recours aux vidangeurs. Ce même pourcentage a été constaté chez les ménages qui n'ont jamais eu à effectuer une vidange.

4.2 Localisation des sites de dépôts de boues

A la suite du routage des camions *spiros*, trois sites de dépôts de boues (l'aéroport, Samako et Samaya) ont été identifiés à Bamako et ses communes environnantes (figure 3). Il est à noter qu'aucun des sites répertoriés n'est dans la zone étudiée.



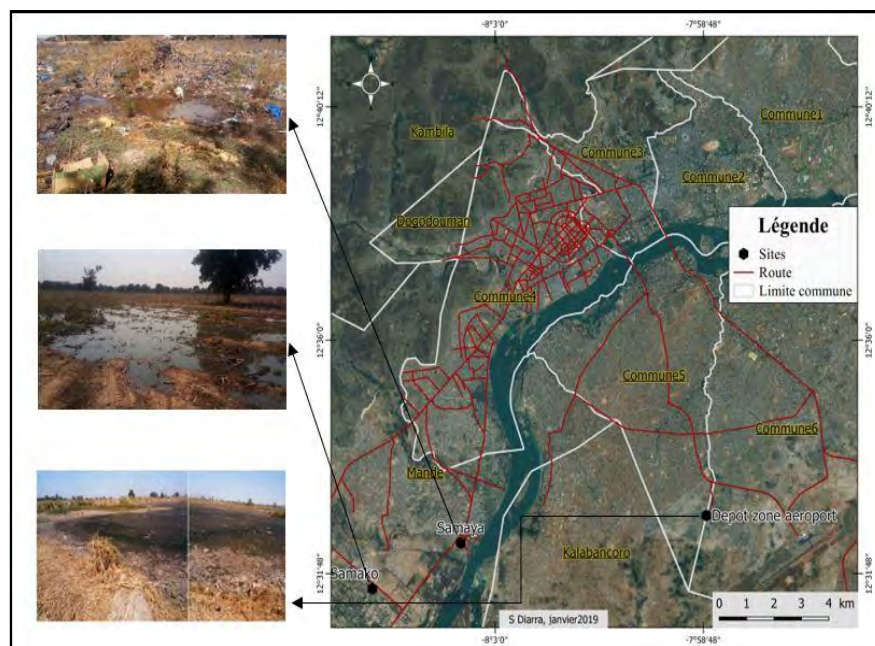


Figure 3: Carte des dépôts de boues répertoriés
Source : Source personnelle, 2019

La figure 3 mentionne que le site de l'aéroport recueille l'essentiel des boues de vidange. Les sites de Samaya et de Samako sont des dépôts anarchiques. Les boues de vidange sont déversées en plein air. Ce déversement représente un danger direct ou indirect à l'homme et à l'environnement et favorise la prolifération de moustiques, de rats et d'autres animaux. Les habitats situés à proximité de la zone sont exposés à des odeurs nauséabondes

et les puits environnants sont exposés à des risques de contamination.

4.3 Moyen de transport utilisé

Les résultats montrent que les camions *spiros* sont focalisés dans le quartier de Lafiabougou (figure 4) aux coordonnées géographiques (-8,03858 et 12,63772).



Figure 4 : Moyen de transport de boues vidangées
Source : Source personnelle, 2019

Cette figure nous renseigne que le parc dispose de 14 camions repartis entre les entreprises de vidange. Il est à mentionner que le parc est situé à

une dizaine de mètres du marché de Lafiabougou. Les camions *spiros* constituent l'essentiel des moyens de transport de boues de vidanges dans la



commune. Le volume des camions varie entre 10 m³ et 15 m³.

4.4 La situation des dépotoirs par rapport aux habitations

Chaque dépôt est situé à une distance de 1km des habitations. En d'autres termes, les boues vidangées ne sont pas déversées dans les environnements

immédiats des zones habitées. Par contre, on y trouve des cultures à moins de 500 mètres de boues déversées en plein air. Ces déversements sont également distants d'une route principale de même que les habitations excepté celui de Samaya. Ce dernier est non seulement à 15 mètres de la RN25 mais aussi à 500 mètres du fleuve (figure 5).

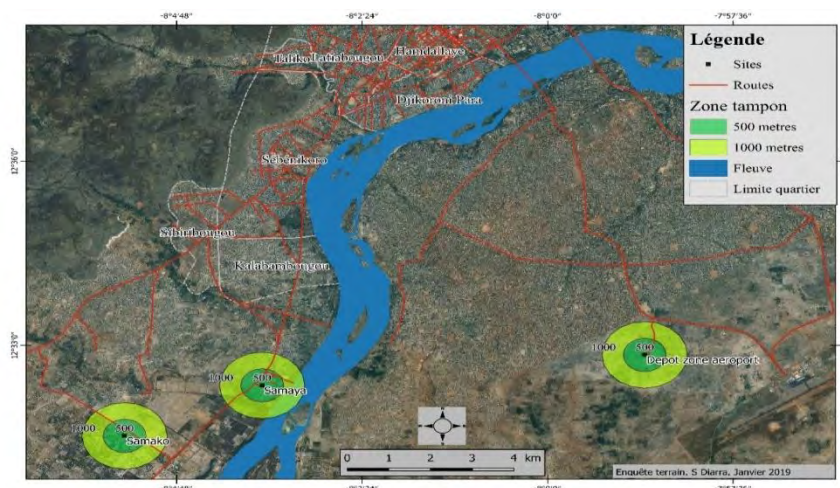


Figure 5 : Situation des dépotoirs par rapport aux habitations et aux axes routiers
Source : Source personnelle, 2019.

4.5 Accessibilité des lieux de déversement

Les opérations de vidange se déroulent à différents niveaux (concessions et site de dépôt). Ainsi ces endroits sont liés par des routes tertiaire, secondaire et primaire. Si les camions spiros accèdent aux concessions via les routes tertiaires,

après aspiration des fosses, ils acheminent les boues vers un deservoir en empruntant une route principale. En conséquence, les principales artères utilisées sont la RN5, la RN25, le Boulevard Cheikh Zayed et la rue 17 (figure 6).

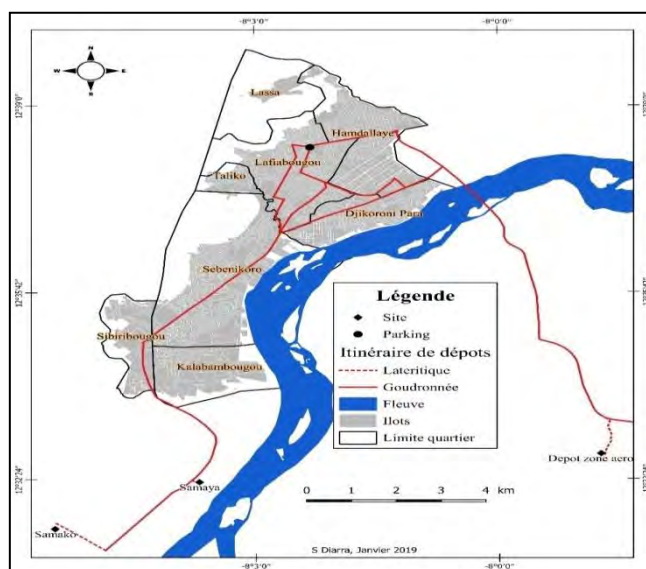


Figure 6 : Principales artères utilisées pendant les opérations de vidange et de dépôt.
Source : Laboratoire Hommes-Peuplements-Environnements, 2019



Avec l'application de la formule de Kouanda (2006), la quantité de boues produite varie d'un quartier à l'autre. Cependant, on estime au total 51 873m³/an soit 142m³/j. De cette quantité, seulement 30 961m³/an sont vidangées soit 60%. Ces quantités

sont transportées par les opérateurs vers les décharges (figure 7).

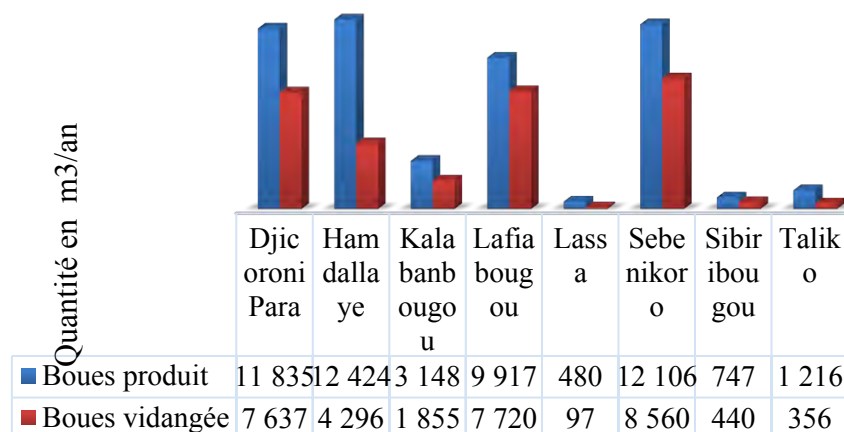


Figure 7: Production et évacuation de boues.

Source : Source personnelle, 2019

V. DISCUSSION

Selon DINGAMNAYEL (2014, p 1), le tiers, soit 2,6 milliards de la population mondiale en 2000, n'avaient pas accès à des ouvrages d'assainissement améliorés. Cette insuffisance a été constatée lors d'une étude menée en 2004 par l'United Nations Children's Fund et le World Health Organization sur l'accès aux services d'assainissement des eaux usées et excréta en Afrique Subsaharienne citée par KOANDA, 2006, p 28. L'étude mentionne que les taux de couverture en assainissement sont passés de 32% en 1990 à seulement 36% en 2002 ; représentant environ 437 millions de personnes sans assainissement de base soit 55% en milieu rural contre 26% en milieu urbain (KOANDA, 2006, p 28). Selon DAH (2013, p 1), ce taux est estimé pour le Burkina Faso en 2005, à 10% en milieu rural contre 40% en milieu urbain. Cet écart considérable avait été signalé par l'étude de CISSE (1997, p 17) à Ouagadougou au Burkina Faso. Il note que 70% de la population utilisent les latrines traditionnelles contre 18% de latrines étanches. Les toilettes à chasse raccordées à une fosse septique desservent 5% de la population, tandis que 7% n'a aucune installation d'assainissement. Contrairement à l'étude de CREPA-CI (2002, p 8) sur Bouaké, où l'assainissement collectif ne concerne que 4,4%.

Au Mali, les populations se trouvent dans des conditions d'hygiène précaires par manque de services d'assainissement adéquat. Seulement 22% des ménages disposent de toilettes considérées comme améliorées et non partagées (CPS, 2014, p 16) Cette proportion varie de 41% en milieu urbain, à 17% en milieu rural. Et pourtant, l'étude de

MBEGUERE, et *al.*, (2009, p 4) mentionne qu'un litre de boues de vidange correspond en effet entre 50 à 100 litres d'eaux usées ; et un camion de vidange de 5 m³ déversé en pleine nature est l'équivalent d'une population de 5 000 habitants déféquant à l'air libre.

A Bamako, la capitale malienne, les efforts sont salutaires avec la réalisation des infrastructures d'assainissement collectif, semi collectif et individuel. En 2014, selon l'étude de CPS, 44% de ménages bamakois disposent d'un équipement sanitaire (CPS, 2014, p 16) avec une production de déchets liquides estimée à 74 874 m³/jour (MAIGA F., 2012, p 19). Les boues de vidanges représentent 2,19% de cette production soit une estimation de 600 000 m³/an (DNACPN, 2006, p 4) dont l'évacuation pose problème en termes de transport et de dépotage. Ainsi, on assiste aux rejets des effluents dans les rues, dans les cours d'eau et dans le milieu naturel sans aucun traitement. Ce phénomène a été observé à Bouaké par CREPA-CI (2002, p 13) où il signale que 49,1% de boues vidanges de la localité sont rejetées dans la rue contre 30,5% dans la nature et 18,1% dans les champs pour servir d'épandage agricole. Seulement 2,2% de ces boues sont déversées sur des sites autorisés par la collectivité territoriale. Dans tous les cas, les boues mal évacuées, déversées et/ou réutilisées dans l'agriculture sans traitement, constituent non seulement un danger pour la population mais aussi une menace pour l'environnement (DNACPN, 2006, p 7).



L'analyse de certaines études de cas (KIENTGA, 2008 ; DEMBELE, 2017), a confirmé l'efficacité et la rapidité de l'outil SIG dans l'intervention de l'assainissement urbain. KIENTGA (2008, p 12) reconnaît, dans son étude sur l'analyse liens déchets-santés à Ouagadougou, que selon l'OMS, les données cartographiées constituent un soutien pratique à la planification des programmes de développement ; favorisée par les progrès en matière de technologies informatiques. Pour DEMBELE, (2017, p 22), le SIG permet de gérer des données alphanumériques spatialement localisées, ainsi que les données graphiques permettant d'afficher ou d'imprimer les plans et les cartes. En effet, dans la plupart des pays de la sous-région, les Systèmes d'Information Géographique se présentent actuellement parmi les meilleures techniques d'aide à la décision par leur grande capacité cartographique, d'analyses spatiales des phénomènes naturels et des actions humaines.

VI. CONCLUSION

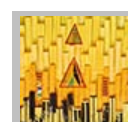
Les résultats de cette étude montrent clairement l'intérêt du Système d'Information Géographique dans la gestion des déchets. Elle a permis d'identifier les versements de boues collectées dans la commune. L'étude a révélé qu'il n'y a pas de site aménagé à l'intérieur de la commune pour recueillir les boues vidangées malgré sa forte production. De l'analyse de lieux de versement aux zones d'habitations, il ressort que les boues sont versées en plein air sans aucun traitement préalable. Toutefois, dans un rayon de 500 mètres il existe des champs de culture et de maraîchage et des habitations dans un rayon de 1 km. En fin l'étude a démontré que les zones de déchargements sont distantes de l'arrêt des camions spiros de 15 km environs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGNES Chevalier et GOFF Maëlan, 2014, Dynamiques de croissance et de population en Afrique Sub-saharienne, Paris, Panorama du CEPII, n° 2014-A-03-juillet, p 18.
- CISSE Bella, 2011, *Analyse socioéconomique et sanitaire de la gestion des boues de vidange dans la ville de Ouagadougou*, Mémoire de Master, Ouagadougou, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Ouagadougou, p 72.
- CISSE Guéladio, 1997, Impact sanitaire de l'utilisation d'eaux polluées en agriculture urbaine : cas du maraîchage à Ouagadougou, Burkina Faso, Mémoire de thèse n°1639, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Algérie, p 331.
- Cellule de Planification et de Statistique, 2014. Enquête Démographique et de Santé (EDSM-V) 2012-2013, Bamako, INSAT/USAID/ACDI, p 547
- Centre Régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement-Côte d'Ivoire, 2002, *Stratégie de gestion des boues de vidange issues des fosses septiques et des latrines dans une ville de plus de 500 000 habitants : cas de la commune de Bouaké en Côte d'Ivoire*, Abidjan, rapport, MAE/PsEau/PDM, p 40.
- DAH Pômileyi, 2013, *Contribution à la gestion durable des boues de vidange de la commune rurale de SAABA*, Mémoire de Master, Institut International d'Ingénierie de l'eau et de l'Environnement, Ouagadougou, p 70.
- DEMBELE Mamadou, 2017, *Téledétection et Gestion des ressources en eau de surface dans la Commune urbaine de Koutiala au Sud-Mali*. Mémoire de Master n° GIS 215013, Nigeria, AFRIGIST, p 94.
- DIARRA Sekoumar, 2019, Application du SIG à la gestion des boues de vidange en commune IV du district de Bamako, Mali, Mémoire de Master, FHG, 66 p.
- DINGAMNAYEL Lumière, 2014, *Suivi des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou*, Mémoire de Master, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Ouagadougou, p 71.
- Direction Nationale de l'Assainissement et du Contrôle des Pollutions et des Nuisances, 2006, *Communication sur la politique en gestion urbaine des boues de vidange*, Dakar, MEA, p 11.
- GABERT Julien, 2018., Fiches techniques et méthodologiques : *calcul de la taille d'un échantillon pour une enquête.*, pp 705-826 [https:// fr.surveymonkey.com/mp/sample-size](https://fr.surveymonkey.com/mp/sample-size)
- Institut National de la Statistique, 2013. *Recensement général de la population et de l'habitat du Mali 2009*, Bamako, DNP.
- KEITA Makandjamba, 2010, *Etude des stratégies de communication utilisées dans la lutte contre le paludisme au centre de santé de référence de la commune IV du district de Bamako*, Mémoire de maîtrise, Bamako, Institut National de Formation des Travailleurs Sociaux, p 67.
- KIENTGA Sonwougnandé, 2008, Contribution du SIG à l'analyse des liens déchets-santé en milieu urbain dans les pays en développement. Cas de deux secteurs de la ville de Ouagadougou, Burkina Faso, Thèse n°4187, Lausanne, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, p 213.
- KOANDA Halidou, 2006, Vers un assainissement urbain durable en Afrique Subsaharienne : approche innovante de planification de la gestion des boues de vidange, Ouagadougou, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Thèse n°3530, p 311.



- MAIGA, Fatoumata, 2012, Analyse des externalités négatives de développement urbain du District de Bamako et pollution du fleuve Niger, Bamako, Thèse de doctorat, Mali, 259 p.
- MBEGUERE Mbaye, DODANE Pierre-Henri et KONE Doulaye, 2009, Gestion des boues de vidange : optimisation de la filière, Dakar, Acte, eawag/Sandec, p 64.
- MORICONI-EBRARD François, HARRE Dominique et HEINRIGS Philipp, 2015, L'urbanisation des pays de l'Afrique de l'Ouest 1950-2010, Paris, Cahiers de l'Afrique de l'Ouest, OCDE/CSAO, p 92.
- Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest/OCDE, 2007, L'Afrique de l'Ouest : une région en mouvement, une région en mutation, une région en voie d'intégration, Paris, CEDEAO, p 58
- WIKIPEDIA, 2019, Démographie de l'Afrique <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?> du 31 janvier 2019 à 11:51.



Évaluation des modifications de l'occupation des sols à l'aide de NDVI, NDBI, MNDWI et IBI avec Landsat dans la Commune de Sanankoroba au Mali

Ibréhima Bengaly^{1*} et Yacouba Diallo²

¹Université Des Sciences Juridiques et Politiques de Bamako, Institut de Pédagogie Universitaire

²Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée

*Email de l'Auteur Correspondant : ibrehima2811@gmail.com

RESUME : La détection de changement est la technique utilisée pour l'évaluation des ressources, qui consiste à comparer des images à plusieurs dates afin de déterminer le type et l'ampleur du changement. Les différentes applications de la détection des changements concernent les domaines agricole, hydrologique, forestier, environnemental et écologique, urbanisme, minière. La croissance rapide de la commune rurale de Sanankoroba a probablement eu une conséquence très rapide et a eu un effet défavorable sur l'environnement. L'imagerie multi temporelle Landsat OLI-TIR permettant d'évaluer l'évolution de la couverture du sol s'est révélée être le meilleur outil de cette étude. Les performances des classificateurs d'images qui utilisent uniquement les données de télédétection peuvent se détériorer, dans toutes les zones sur la terre, du fait de la présence d'ombres. Dans notre étude, une approche de classification multi source pour cartographier la couverture terrestre la commune avec des sommets un peu haute montagne dont l'altitude peut atteindre 453m au-dessus du niveau moyen de la mer a été adoptée. Les données de télédétection de l'image Landsat OLI-TIR ainsi que les couches de données NDVI, NDBI, MNDWI et IBI ont été utilisées pour effectuer une classification multi-sources à l'aide du classificateur de vraisemblance maximale. La méthode de détection du changement utilisée était la différenciation NDVI, NDBI, MNDWI et IBI. Les résultats ont montré que les types de couverture forestière ou arbustive et de couverture de terre de champs et jachère avaient diminué d'environ 6,96% de 2018, tandis que, les zones construites et les affleurements rocheux avaient augmenté d'environ 12,95%, et 47,41% respectivement. Au cours de la période d'étude, le changement détecté en référence à la localisation des types de LUC dans les différentes localités d'altitude et de gammes de pentes mentionnées n'était pas d'une importance significative.

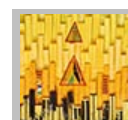
Mots clés: Changement d'utilisation des sols, L'Indice Normalisé de la Végétation (NDVI), l'Indice Normalisé du Bâti (NDBI), l'Indice Normalisé modifié de l'eau (MNDWI), l'Indice Basé sur les secteurs Bâtis (IBI).

I. INTRODUCTION

L'obtention et la mise à jour d'informations sur l'état actuel et les changements dynamiques continus de la surface de la Terre dans la commune rurale de Sanankoroba, est une tâche pour laquelle les technologies de télédétection et Système d'Information Géographique (SIG) peuvent ou mieux montrer leurs avantages. L'évaluation de la couverture de l'utilisation des sols (LUC) est l'un des paramètres les plus importants pour planifier de manière significative la gestion des ressources en sols. Les stocks de LUC revêtent une importance croissante dans divers secteurs des ressources, tels que la planification agricole, les enquêtes sur les établissements humains, les études environnementales et la planification opérationnelle basée sur les zones agro-climatiques. La connaissance des informations spatiales sur la couverture terrestre est essentielle pour une gestion, une planification et une surveillance appropriées des ressources naturelles (Zhu, 1997). L'imagerie par télédétection par satellite est une source fiable pour la collecte d'informations de qualité sur la couverture terrestre aux niveaux local, régional et mondial (Csaplovics, 1998; Foody, 2002).

En outre, les données de télédétection et le Système d'Information Géographique sont globalement utiles pour la détection et la cartographie du changement de couverture terrestre dans la commune de Sanankoroba.

De nos jours, de nombreuses études sur la cartographie du changement de LUC utilisant des données de télédétection avec divers degrés de précision. Cela peut être dû à un grand nombre de facteurs qui influencent le processus de télédétection. Ceux-ci incluent la présence d'ombres causées par la haute altitude du terrain ou le bas, la couverture nuageuse, les vallées et ravines étroites et profondes, les angles de faible ensoleillement, les pentes abruptes et la couverture végétale différentielle. Pour cette raison, une classification basée uniquement sur les données spectrales d'un capteur de télédétection peut ne pas être suffisante pour collecter des informations efficaces sur la couverture terrestre (Arora et Mathur, 2001). Tenant compte des conditions existantes, notre étude a tenté de détecter les modifications de la couverture en matière d'utilisation des sols dans la commune de Sanankoroba. Le manque d'informations à une échelle supérieure à 1/ 5000 et d'imagerie à haute résolution spatiale, telles que des photos aériennes,



Quick Bird, Géo-eye etc... ou des images sans nuages dans la zones d'étude, nous a obligés à étudier la détection des modifications uniquement à partir de données disponibles, comparables et précises la résolution moyenne, pour les années 2018, en utilisant les données Landsat OLI-TIR.

Les performances des classificateurs d'images qui utilisent uniquement les données de télédétection peuvent se détériorer. Pour suivre le changement dans une zone locale, nous avons utilisé la méthode de différenciation d'image NDVI, NDBI, MNDWI, et IBI. La différenciation des indices ont été utilisée avec succès pour détecter les changements (Sohl, 1999).

Pour suivre le changement de LUC dans une zone locale, nous avons utilisé la méthode de différenciation d'image **L'Indice Normalisé de la Végétation (NDVI)**, **l'Indice Normalisé du Bâti (NDBI)**, **l'Indice Normalisé modifié de l'eau (MNDWI)**, **l'Indice Basé sur les secteurs Bâti (IBI)**. La différenciation des indices ont été utilisée avec succès pour détecter les changements (Sohl, 1999), la différenciation de réflectance d'image vecteur de changement sont largement utilisées. Cependant, la dernière étape, c'est-à-dire le seuil utilisé pour déterminer si un changement détecté est bien un changement réel, est beaucoup plus difficile et peu d'études ont enquêté sur ce problème. Une approche fréquemment utilisée consiste à utiliser l'écart type de l'image de différenciation comme seuil possible. La différenciation simple est la technique de détection de changement la plus largement utilisée. Elle a été utilisée dans une grande variété d'environnements et avec un large assortiment de données satellitaires (Singh 1989, Jensen 1996).). La différenciation simple s'est révélée être l'une des techniques de détection de changement les plus précises (Woodwell et al. 1983, Singh 1989).

Le but de cette étude est de détecter les changements d'occupation des sols dans la commune rurale de Sanankoroba à l'aide d'une image Landsat OLI-TIR, conformément au objectif suivant:

Évaluer le changement de LUC à l'aide de la technique de différenciation NDVI, NDBI, MNDWI et IBI, qui réduit les effets des effets topographiques et de l'éclairage

II. MATÉRIAUX ET MÉTHODES

2.1 Zone d'étude

La commune de Sanankoroba fait partie de la zone Soudanienne, c'est-à-dire le soudano-sahélien. Par ailleurs, l'emplacement de la zone d'étude est de plus relativement près d'une autre région géophysique : Celui-ci est situé entre les 4ème et 8ème degrés ouest et entre les 12 ème et 13 ème degrés nord. Sachant que les coordonnées du secteur de référence sont 7°

à 8° ouest et 12° nord, nous remarquons que nous sommes un peu plus à l'ouest que le Delta central (Figure).

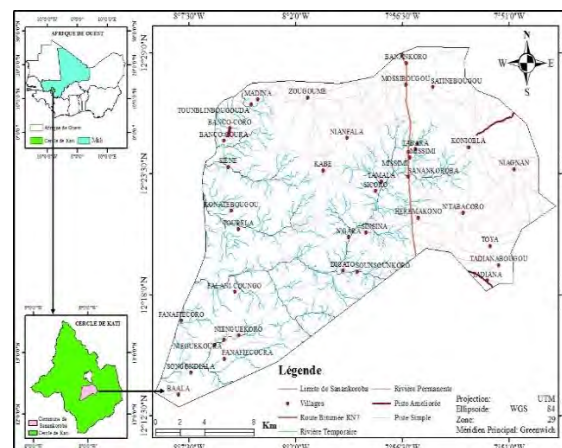


Figure 01 : Présentation de la zone d'étude

La commune fut créée par la loi N°96-059 du 04 Novembre 1996 portant création des communes en République du Mali. Elle est située à 35 kilomètres de Bamako sur la Route Nationale 7 (RN7) et fait partie de l'arrondissement de Sanankoroba qui est composé de trois communes (Sanankoroba, Bougoula et Dialakoroba). Le relief est accidenté, des chaînes de collines sont disséminées un peu partout mais reste cependant une zone plate. La commune de Sanankoroba est constituée de vastes plaines en bordure du fleuve Niger, au prolongement des plateaux latéritiques à l'Est et au Sud. La commune dispose de ressources en eau avec le fleuve Niger, des ressources en terres de culture (cultures sèches, cultures irriguées, cultures maraichères).

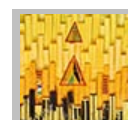
2.2 Sources de données

La scène Landsat, Oli-TIR va permettre d'extraire les informations anciennes et actuelles sur la couverture du sol (2018). Les différentes bandes de ces capteurs répondent assez bien aux critères d'identification des classes (forêt dense, forêt claire, savane, agglomération, sols nus, cultures et jachères ensuite les plans d'eau et cours d'eau) retenues.

Une image satellite de haute résolution de la zone d'étude, extraite de Google Arth.

La Base de données de la cartographie du Mali, obtenue à l'Institut Géographique du Mali, va servir à la délimitation de la zone d'étude pour démontrer la dégradation des terres. Les coordonnées GPS obtenus des différentes unités d'occupation de la zone d'étude vont permettre de valider la classification.

Les images ont été corrigées pour éliminer les effets atmosphériques, puis géo-rectifiées à l'aide de points de contrôle au sol collectés par GPS. Les images ont été ré-échantillonnées à une taille de pixel de 30 m



pour toutes les bandes en utilisant la méthode du voisin le plus proche. L'indice de Kappa quadratique moyenne résultante s'est avérée être de 0.99 pour l'image de 1972, de 0.98 pour l'image de 1982. Toutes les données ont été projetées dans un système de coordonnées Universel Transverse Mercator (UTM), Datum WGS 1984, zone 29 nord, au moyen d'une carte topographique au 1/200 000 de la zone d'étude.

2.3 Évaluation du changement de LUC à l'aide de la technique de différenciation NDVI, NDBI, MNDWI et IBI, qui réduit les effets des effets topographiques et de l'éclairage dans la Commune rurale de Sanankoroba

L'IBI associe trois indices se référant chacun à l'un des composants majeurs du milieu rural et urbain. Il s'agit des surfaces construites, de la végétation et de l'eau Xu, (2008). Cet indice fera utiliser pour connaître la proportion des surfaces construites. Le NDVI, le NDBI, le MNDWI seront ainsi calculés.

Le NDVI sera construit à partir des canaux rouges (R) et proche infrarouge (PIR). Il servira à mettre en évidence l'activité chlorophyllienne et améliore le contraste entre les zones bâties et les zones cultivées. Ainsi les surfaces couvertes par la végétation auront une valeur positive proche de 1. Par contre celles dont la réflectance dans le rouge est beaucoup plus importante ont des valeurs négatives.

Quant au NDBI, il mettra en exergue les surfaces construites. Celles-ci auront une forte réflectance dans le MIR que dans le PIR. Il ne permettra pas à lui seul l'extraction du bâti. En effet des études ont montré que la réflectance de certain type de végétation augmente dans le MIR lorsque la quantité d'eau diminue Xu, (2008). La végétation sèche a une réflectance plus importante dans le MIR que dans le PIR, d'où de nombreuses confusions spectrales sur l'image satellite.

Le MNDWI est lié à l'importance de l'eau de surface dans l'écosystème de bâti surtout en zone périurbaine où l'on a la probabilité de trouver des surfaces marécageuses est élevée. Cet indice permettra ainsi de rehausser ces entités sur l'image satellite en réduisant le bruit contenu dans le bâti. Les trois néo canaux issus de ces indices seront ensuite utilisés pour établir l'IBI. Les valeurs de ce dernier sont comprises entre -1 et 1 dont les plus grandes correspondent au bâti.

III. RESULTATS

Afin de déterminer la portion urbanisée de Sanankoroba à partir de l'image satellite, l'IBI qui est une combinaison de trois indices (NDVI, NDBI, MNDWI) fut calculé et des valeurs seuils pour le bâti furent identifier.

3.1. L'indice normalisé de la végétation (NDVI)

Le NDVI réalisé à partir des bandes 5 (PIR) et 7 (rouge) met en exergue la couverture végétale de la zone d'étude

$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R}$$

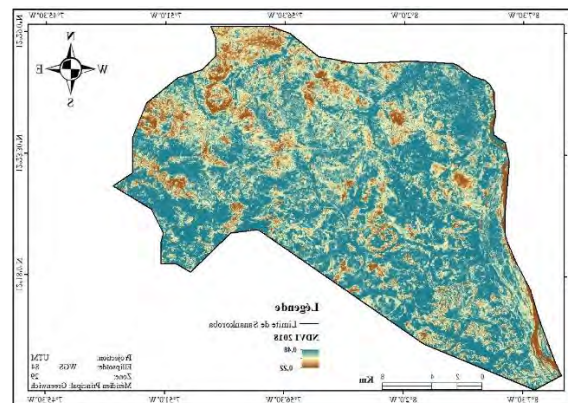


Figure 02 : Image issue du NDVI

Les valeurs du gradient de la figure 02 vont de -0,22 à 0,48. Les plus fortes valeurs correspondent à la végétation ; elle apparaît ainsi avec la couleur bleue sur l'image. On la rencontre surtout au Nord et Sud-Est de la commune qui sont plus proches des zones rurales que le chef-lieu de la commune. La faiblesse de la couverture végétale tient au fait que l'image a été acquise en pleine saison sèche c'est-à-dire en période de faible activité chlorophyllienne. Quant aux surfaces construites, elles apparaissent plus sombres et occupent à première vue une surface assez importante de la zone d'étude. Elles se concentrent au Nord Est et dans la partie un peu centrale de la commune.

3.2. L'indice Normalisé du bâti (NDBI)

Cet indice prend en compte le moyen infra-rouge et le proche infra-rouge.

$$NDBI = \frac{(MIR - PIR)}{(MIR + PIR)}$$

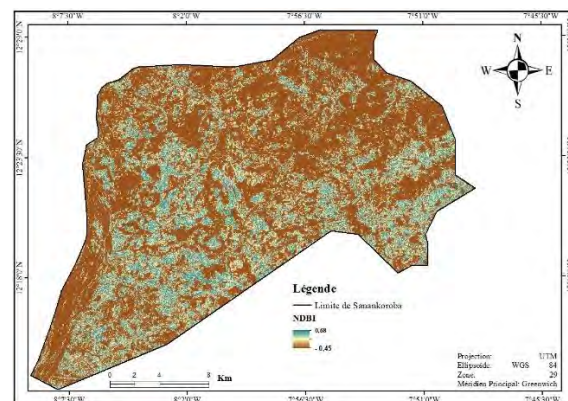


Figure 03 : Image issue du NDBI



Il permet de rehausser les pixels « bâtis » sur l'image. Ainsi sur la figure 03, le bâti s'affiche dans les pages bleutées avec les plus fortes valeurs de l'échelle (entre -0,045 et 0,68). Alors que la végétation et les plans d'eau se retrouvent en dégradé de marron. Ce résultat est dans une moindre mesure l'inverse du NDVI. Cependant des confusions existent entre les sols nus et les surfaces construites. En effet, la zone occupée par l'habitat spontané (à proximité de la commune de Dialakoroba) où les habitations sont construites en banco et contigües a presque que les mêmes valeurs indiciaires que les sols nus.

3.3. L'indice normalisé modifié de l'eau (MNDWI)

Contrairement aux deux précédents, le MNDWI comme le montre la figure 49 met en évidence aussi bien la présence des eaux de surfaces que de la végétation. En effet, elles apparaissent en teinte bleutée (-0,77 à 0,35). Cela peut s'expliquer par la prépondérance de la verdure aux abords des plans d'eau même en saison sèche. Par contre les surfaces construites

(-0,2 à -0,07) sont observables dans les plages couvertes par le marron claire et les sols nus

(-0,24 à 0,20) avec les plus faibles valeurs apparaissent dans les parties sombres. Cette équation a permis d'aboutir à ce résultat.

$$MNDWI = \frac{(V - MIR)}{(V - MIR)}$$

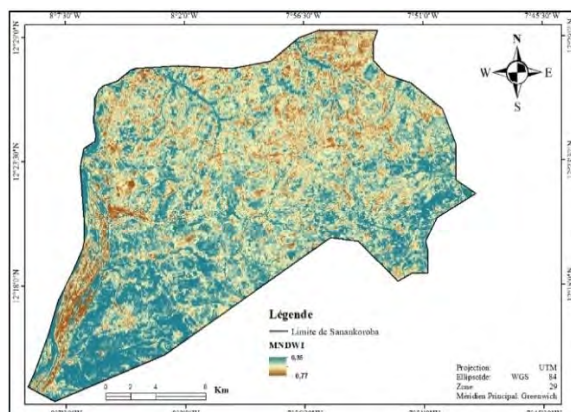


Figure 04 : Image issue du MNDWI

$$IBI = \frac{[NDBI - (NDVI - MNDWI)/2]}{[NDBI + (NDVI - MNDWI)/2]}$$

Source : Xu (2008)

3.4. L'Indice Basé sur les secteurs Bâtis (IBI).

Sur la Figure ci-dessous, le bâti est nettement rehaussé et s'affiche en dégradé de bleu. Alors que la végétation et l'eau s'affichent dans les plages sombres. Cela est lié au fait que l'IBI a augmenté le

contraste entre le bâti et les autres unités d'occupation du sol.

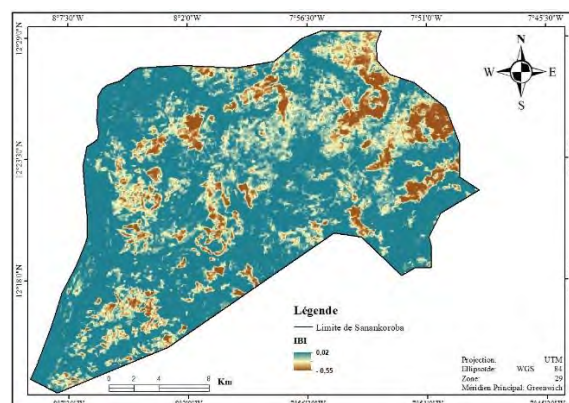


Figure 05 : Image issue de l'IBI

Par ailleurs, le fait que l'IBI n'utilise pas les bandes spectrales originales de l'image, contribue à réduire de façon importante la redondance entre ces bandes. Les scatter plot réalisés entre les trois indices conventionnels et l'IBI le confirment.

Le tableau 01 fait la synthèse des valeurs minimales et maximales de chaque indice ainsi que les seuils du bâti. Il montre par ailleurs que c'est au niveau du NDVI et du MNDWI que les surfaces construites ont les valeurs les plus faibles. Par contre le NDBI et l'IBI rehausse les valeurs de cette unité d'occupation du sol.

Tableau 1: Synthèse des valeurs des indices et des seuils pour le bâti

Indices	Min	Mean	Maxi	Bâti
NDVI	-0.22	0.19	0.49	-0,12 à -0,07
NDBI	-0.45	-0.10	0.68	0,0015 à 0,04
MNDWI	-0.77	-0.12	0.35	-0,15 à 0,08
IBI	-0.55	-0.30	0	0,0011 à 0,012

IV.DISCUSSION

Du fait des confusions spectrales en milieu péri-urbain, l'un des défis de la télédétection est d'identifier une technique adéquate pour la restitution de la formation végétale et du bâti à partir des images satellites de moyenne résolution. Les premières applications de l'IBI sur la ville de Fuzhou (au Sud de la Chine) avec une image Landsat ETM+ ont été convainquant. Appliqué dans le cadre de cette étude les résultats escomptés n'ont pas été atteints. En effet, une grande partie de la commune est



occupée par l'habitat spontané (BENGALY.I, 2019) où le matériel utilisé pour la construction est le banco (argile rouge). A ces endroits, les bâtis et les sols nus ont pratiquement les mêmes valeurs indiciaires. Même si la proportion des sols nus qui ont été pris en compte est négligeable; il n'en demeure pas moins que cela a contribué à un accroissement du pourcentage des surfaces construites. La surface couverte par le bâti (12%) environ pourrait cependant s'expliquer par la proximité du site de la capitale Bamako, et des perspectives d'aménagement (surtout le lotissement) qui favorisent l'implantation humaine dans la zone d'étude.

Les précisions de classification se sont avérées meilleures que prévu. Les précisions globales élevées de tous les processus de classification peuvent être expliquées par le fait que le nombre total de pixels correctement classés était élevé. Cela peut être attribué à de nombreux facteurs, parmi lesquels l'utilisation de données auxiliaires (NDVI, NDBI, MNDWI et IBI), l'utilisation de l'image Arc GIS Satellite comme données de référence et les enquêtes sur le terrain. Dans l'une de nos études précédentes Bengaly, (2019), la précision en était une autre car une certaine confusion pouvait exister entre les signatures de pixels ou spectrales de différentes classes de LUC, par exemple. Zone non utilisée, jachères et terres cultivées.

La méthode de différenciation NDVI, NDBI, MNDWI et IBI est relativement facile à mettre en œuvre et à interpréter, mais elles ne peuvent pas fournir de matrices complètes de sens de changement (Lu et al. 2004) et la différenciation d'indice est également sujette à une erreur d'enregistrement (Gong et al. 1992). Lors de l'utilisation de la méthode de différenciation NDVI, NDBI, MNDWI et IBI, certains changements causés par l'absence de changement LULC, tels que le changement phénologique de la plante, la différence d'éclairement et le changement des conditions atmosphériques entre deux dates peuvent contaminer les résultats de détection du changement final. En d'autres termes, la différence entre les valeurs NDVI, NDBI, MNDWI et IBI du même type de couverture terrestre peut suggérer des réponses différentielles de la végétation aux conditions climatiques telles que la réactivité aux précipitations ou les limitations dues aux températures élevées. Ces réponses différentielles ont été observées à des niveaux intra et interspécifiques dans le sud-ouest des États-Unis (Lin et al. 1996; Weltzin et McPherson, 1997; Williams et Ehleringer, 2000). Bien que la précision globale et la valeur kappa de la méthode étudiée soient bonnes, la méthode ne permet pas à l'utilisateur de distinguer les légères modifications des modifications plus importantes.

Cela s'avère être similaire aux observations rapportées ailleurs. L'existence considérable d'eau dans la même zone est un phénomène assez répandu, car la population y vit toujours, où se trouve une eau. Mais même s'il s'agit de la zone un peu basse, c'est peut-être l'endroit idéal pour recevoir toutes les eaux d'érosion provenant la zone plus en pente. C'est pourquoi le type de couverture d'eau diminue avec l'augmentation du niveau de la pente. Les terres agricoles, forestières ou arbustives et les terres stériles sont principalement peuplées dans la zone relativement en pente en raison du manque de place dans les zones moins inclinées. C'est parce que, dans la mesure où les zones à faible pente sont extrêmement limitées dans la commune; ces zones étaient principalement utilisées pour des activités agricoles. C'est précieux pour les terres stériles et forestières ou arbustives.

V. CONCLUSIONS

Les résultats de cette étude confirment l'utilité du NDVI, NDBI, MNDWI et IBI pour la caractérisation et la détection du changement LULC dans la commune rurale de Sanankoroba.

Le principal changement observé pour la période 2018 a été l'augmentation des affleurements rocheux dans certaines zones de haute altitude. En 2018, ses valeurs dans les zones de 354- 363m, 363 - 372m, 345 - 354m, 311 - 334m, 334 - 345m, étaient respectivement de 18, 17, 14, 13, 11%. La méthodologie appliquée à la commune a permis en intégrant des données de télédétection dans un SIG. Il ressort du traitement de l'image que la zone d'étude est moyennement bâtie. A cet effet, l'IBI s'est avéré être un indice efficace pour extraire le bâti des images satellites. Par ailleurs, cette étude a révélé une forte corrélation entre la densité du bâti et l'effectif de la population. Ainsi les secteurs à forte densité de population ont les chiffres de populations les plus importants.

Pour parvenir à des résultats concluants dans l'avenir, les travaux de terrain s'imposent. Cela a été étudié lors des travaux sur le terrain du 10 Aout 2018. Au cours de la période d'étude, le changement détecté en référence à la localisation des types de LUC dans les différentes zones d'altitude et de pentes mentionnées n'était pas d'une importance significative. En raison de la structure topographique complexe de la commune, il n'a pas été possible de distinguer les jachères à autres cultures agricoles sur des images paysagères. Les procédures de détection de changement utilisant des images de télédétection offrent un bon potentiel pour caractériser et comprendre les changements survenant pendant la période d'étude dans la commune rurale de Sanankoroba.

REMERCIEMENTS



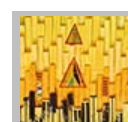
L'auteur est reconnaissant à l'Institut de Pédagogie Universitaire (IPU) de Université Des Sciences Juridiques et Politiques de Bamako, (USJPB).

REFERENCES

- [1] Anderson, JM, Hardy, E E, Roach, JT et Witmert, R E. (1976). *Système de classification de l'utilisation des terres à utiliser avec les données de télédétection*. Document professionnel de la US Geological Survey, n ° 964, Washington D. C. Government Printing Office.
- [2] Arora, MK et Mathur, S. (2001). *Classification multi-sources utilisant un réseau de neurones artificiels sur un terrain accidenté*. Geocarto International, 16 (3), 37-44.
- [3] Csaplovics, E. (1998). *Images spatiales haute résolution pour la surveillance environnementale régionale - statu quo et tendances futures*. Archives internationales de photogrammétrie et de télédétection, 32 (7), 211-216.
- [4] Demaze M. T (2010). *Un panorama des recherches utilisant la télédétection pour l'étude de l'étalement urbain*. In ESO- LE Mans, N°29. p 99-124.
- [5] Diallo Y., Hu G. et Abdurazak H. A., (2009), *Simulation Planning for Sustainable Use of Land Resources: Case study in Diamou*
- [6] Fadairo A. F. (1996). *Application de la photogrammétrie à la cartographie et au dénombrement des recensements*, mémoire de MSC, RECTAS, 37 p.
- [7] Eiumnoh, A et Shrestha, P. (2000). *Application des données du MNA à la classification d'images Landsat: évaluation dans un paysage tropical humide, sec et humide de Thaïlande*. Ingénierie photogramétrique et télédétection, 66 (3), 297-304.
- [8] Foody, G M, Campbell, N A, Trodd, N M et Wood, T F, (1992). *Dérivation et applications de mesures probabilistes d'appartenance à une classe tirées de la classification par maximum de vraisemblance*, ingénierie photogramétrique et télédétection, 58: 1335-1343.
- [9] Foody, G M. (2002). *Évaluation de l'exactitude de la classification de la couverture terrestre*, télédétection de l'environnement, 80: 185-201.
- [10] Gallice C (2001). *La télédétection pour l'analyse spatiale, application aux espaces périurbains*. Position de thèse In «Géocarrefour». Vol.76 n°4 Quel périurbain aujourd'hui, p.383.
- [11] Hayes JD et Sader SA, (2001), *Modification des techniques de détection pour surveiller le défrichement et la régénération de forêts dans une forêt tropicale humide*, Ingénierie photogramétrique et télédétection 67: 1067-1076.
- [12] Lyon JG, Yuan D, Lunetta R S, et al. (1998), *Une expérience de détection de changement utilisant des indices de végétation*. Photogr Eng Remote Sens, 64 (2): 143—150
- [13] McIver D. K. et M. A. Friedl, (2002), *Utilisation de probabilités antérieures dans la classification par arbre de décision de données de télédétection*. Télédétection de l'environnement 81: 253-261
- [14] Mengistu D., A. et Salami A.T., (2007), *Application de la télédétection et des SIG à l'intérieur des sciences et technologies de l'environnement 1* (5): 099-109.
- [15] Reis S. (2008), *Analyse de l'évolution de l'utilisation des sols / de la couverture des sols à l'aide de la télédétection et des SIG à Rize, Nord-Est de la Turquie*, Sensors, 8: 61886202.
- [16] Rogan, J., Franklin, J. & Roberts, D.A. (2002) *Comparaison des méthodes de surveillance des changements de végétation multi temporels à l'aide de l'imagerie Thématique Mapper*. Remote Sens. Environ., 80 (1): 143-156.
- [17] Saha A. K., Arora M. K., E. Csaplovics, Gupta R. P., (2005), *Classification de la couverture terrestre à l'aide d'images IRS LISS III et de DEM sur un terrain accidenté: une étude de cas dans l'Himalaya*, Geocarto International, 20 (2): 39-46.
- [18] Theau J., (2006), *Conférence sur les sciences géo spatiales et les domaines géographiques, chercheur postdoctoral, centre de formation et de recherche en SIG*, Idaho State University.
- [19] Vogel, A.W., Wang M. et Huang X., (1995). République populaire de Chine: *sols de référence rouges de la province subtropicale du Yunnan*. Soil Brief China. Institut des sciences du sol Académie Sinica, Nanjing, et Centre international d'information et de référence sur le sol, Wageningen. pp. 10-27.
- [20] Weltzin, J.F., McPherson, G.R., (1997). *Répartition spatiale et temporelle des ressources en humidité du sol par les arbres et les herbes dans une savane tempérée*, Arizona, États-Unis. Oecologia 112: 156-164.
- [21] Williams D.G, Ehleringer J.R., (2000), *Variation intra et interspécifique de l'utilisation des précipitations estivales dans les forêts de Pinyon-Juniper*, monographies écologiques, 70: 517537.



- [22] Wu, W. et Shao, G. (2002); *Combinaisons optimales de données, classificateurs, télédétection*, 28 (4): 601-609.
- [23] XU H. (2008). *Nouvel index permettant de délimiter les entités terrestres construites dans l'imagerie par satellite*: Lettre de télédétection. Journal international de télédétection, 29 n °. 14, p 4269-4276.
- [24] Yacouba. D, Guangdao. H, Xingping. W., (2009), *Assessment Of Land Use Cover Changes Using Ndvi And Dem In Puer And Simao Counties, Yunnan Province, China*
- [25] Young, S. S., Wang C. Y., (2001), *Analyse du changement de la couverture terrestre de la Chine à l'aide de données à l'échelle mondiale du Pathfinder AVHRR Landcover (PAL)*, 1982-92, Int. j. télédétection, 22 (8): 1457-1477
- [26] Yuan, D. et Elvidge, C. D. (1998), *Étude pilote de détection du changement de la couverture terrestre du NALC: expériences de Washington D.Carea*», Remote Sens. Environ. 66, 166-178.
- [27] Zhu, A X. (1997). *Mesure de l'incertitude dans l'assignation de classe pour des cartes de ressources naturelles en logique floue*. Ingénierie photogrammétrique et télédétection, 63 (10), 1195-1202.



Les potentiels des Big Data dans le développement socio-économique et sécuritaire du Mali

Djibril Diarra¹ et Madian dit Tiéman Diarra²

¹ Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako, Institut Universitaire de Développement Territorial, Bamako, Mali

² Institut d'Economie Rurale, Bamako, Mali
Email : dl4djibril@gmail.com

RESUME : La croissance fulgurante de la production de données de différents types dans certaines structures de l'administration publique et le fonctionnement en silo des systèmes de gestion dans ces structures font que le potentiel réel permis par une analyse appropriée de ces données n'est pas exploité. Les Big Data mettent à disposition des outils et méthodes permettant d'exploiter ce potentiel. Cet article explore les potentiels des Big Data dans le secteur gouvernemental au Mali à travers leurs enjeux dans quelques domaines publics dont la santé, l'économie et les finances, la sécurité et la défense.

Mots clés : Big Data et e-Gouvernance, Informatique décisionnelle, Economie Numérique, Crowdsourcing.

ABSTRACT: The lightning grow of data's production in some of the public administration and the working in silo of management system in these direction make unused the real potential allowed by an appropriate analysis of these data. The Big Data applications give some tools and methods which allow to work that potential. This article explore the potentials of Big Data's use in government sector in Mali through the application in some public area such as health, economy and finance, security and defense.

Keywords: Big Data and e-Gouvernance, Decision Support System, Digital Economy, Crowdsourcing

I. INTRODUCTION

Les avancées fulgurantes dans le domaine des technologies de l'information et de la communication (TIC) ont bousculé les manières traditionnelles de communication des entreprises et des individus.

Dans la dimension matérielle (hardware) de ces avancées, la couverture des réseaux de télécommunication est de plus en plus grandissante, le coût des téléphones intelligents (Smartphones) connaît une diminution progressive. Ces faits posent les bases d'une connexion des zones géographiques couvertes, au réseau mondial : l'Internet.

Dans leur dimension logique ou logicielle (software), la popularisation des applications Web et des réseaux sociaux numériques comme Twitter¹, LinkedIn², Whatsapp³ offre à chacun des espaces d'expression quasi-démocratiques sur toute thématique, entre autres la politique, les tendances, etc. Cette vulgarisation de médias sociaux a également un impact important sur l'utilisation très massive de l'Internet dont la facilité d'accès dans des zones les plus reculées réduit la fracture et l'enclavement numérique [1,2]. Désormais tout individu, de tout âge, de tout genre et de toute classe

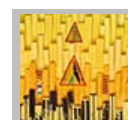
sociale peut être créateur et/ou consommateur de contenu digital [3,4].

D'un côté, cette nouvelle forme de communication, encouragée par les offres de plus en plus attractives des opérateurs de télécommunication sur les coûts d'accès à l'Internet, fournit à des institutions aussi bien qu'à des particuliers, la possibilité de créer des nouvelles opportunités d'affaires dans le commerce, dans la distribution, dans la fourniture de services et d'assistance, autrefois inexistantes [1]. C'est la raison pour laquelle nous assistons, un peu partout en Afrique, à la création d'applications mobiles dans de nombreux secteurs, entre autres les finances, la santé et l'éducation. Et le Mali n'est pas en reste de cette émergence digitale. Celle-ci contribue de manière significative à créer de la valeur ajoutée dans l'économie numérique considérée comme l'une des économies sectorielles les plus fleuries de l'Afrique Subsaharienne, ces cinq dernières années, avec une participation d'environ 7,7 % en moyenne dans le PIB (Produit Intérieur Brut) de ces zones [1,2,5].

¹ Twitter : www.twitter.com, est un réseau social général.

² LinkedIn : www.linkedin.com, est un réseau social professionnel.

³ Whatsapp : C'est un réseau social dédié aux smartphones et qui est téléchargeable gratuitement sur toutes les plateformes d'application (playstore, appstore).



De l'autre côté, dans un processus de crowdsourcing⁴ auquel peut participer tout individu, ces nouveaux dispositifs de communication génèrent des amas gigantesques de données. Ces derniers constituent des gisements inépuisables d'informations pouvant aider toute institution dans ses stratégies de prise de décision [6,7], pourvu que celle-ci dispose d'outils et de systèmes adéquats pour les traiter. Si les outils de Data Mining (DM)⁵, de Business Intelligence (BI)⁶ et des systèmes de gestion de base de données (SGBD) ont toujours existé depuis des décennies, la quantité des données produites par ces dispositifs de communications, la vitesse de changement de ces données et leur diversité font que ces outils et les SGBD traditionnels ne sont pas adéquats pour leur traitement [6] : d'où le besoin des Big Data.

La notion de Big Data a émergé au début des années 2000. Elle désigne les données très volumineuses provenant de sources très variées avec une vitesse d'évolution très rapide et les techniques et outils créés pour leurs traitements à des fins bien déterminées [6]. En ce jour, les Big Data sont l'apanage des géants du Web dont Google, Apple, Facebook, Amazon, Microsoft (GAFAM) qui les utilisent à des fins commerciales de l'information, de marketing ciblé et/ou de prestation de services de proximité avec des clients. Cependant, les atouts des Big Data peuvent intéresser les entreprises ordinaires et même les gouvernements. Ces derniers peuvent les utiliser pour faire face à des défis de sécurité alimentaire [8–10], de santé publique [11], de justice [12,13], de défense [12,14] et de développement durable auxquels leurs populations sont confrontées [7,12].

Dans ce contexte, nous proposons dans cet article, une exploration des potentiels des Big Data dans le développement socio-économique et sécuritaire au Mali confronté à une crise plurisectorielle dont les aspects les plus prononcés sont le terrorisme, la corruption, la mauvaise qualité de l'éducation et de la santé, la distribution inégalitaire de la justice, la fraude fiscale, etc. Concrètement, nous mettrons en lumière les enjeux de l'utilisation des Big Data dans quelques domaines régaliens de l'Etat du Mali, entre autres l'économie et les finances, la défense et la santé. L'éclaircissement de ces enjeux sera assorti de

la proposition d'un modèle des grandes phases de la réalisation d'un tel système.

II. LES ENJEUX DU RECOURS AUX BIG DATA POUR UNE BONNE GOUVERNANCE AU MALI

Au Mali, les systèmes d'information dans l'administration publique fonctionnent en silo. En général, les systèmes au sein de chaque structure administrative sont endossés sur des bases de données conçues exclusivement à la mesure des processus métiers propres à elle. Il est même fréquent de constater que des services complémentaires d'une même structure fonctionnent avec des bases de données différentes. Nous pensons au système de gestion d'un service de comptabilité et celui d'un service des ressources humaines par exemple. Bien que pouvant exister avec des structures différentes, telles bases de données peuvent être agrégées et gérées comme des collections complémentaires et compactes.

Ces fonctionnements en silo, entre des systèmes d'information au sein d'une structure ou entre ceux-ci et ceux d'une autre structure, sont favorisés d'un côté, par les technologies et les méthodes utilisées lors de leur réalisation et de l'autre, par les principes managériaux et décisionnels. Ces cas pourraient répondre au souci d'échapper à l'asservissement par un système concurrent ou par des processus métiers externes. En outre, ce silo peut être dû à la complexité, voire l'impossibilité d'interopérabilité entre ces systèmes ou ces bases de données. En effet, il faut reconnaître que bon nombre d'entre eux sont conçus suivant des méthodes de conception et des technologies de développement classiques telles que Merise⁷, UML⁸, les bases de données relationnelles, Excel, etc. Ces systèmes classiques ont les avantages d'être maîtrisés parce que certaines de leurs technologies de base sont connues et utilisées depuis des décennies. En outre, ces technologies assurent une certaine sécurité d'utilisation des données quand celles-ci ne sont pas assez volumineuses, variées et véloces ; ce qui est le cas au sein de la plupart des administrations publiques. En effet, les structures et les types de ces données manipulées sont connus en avance et peu changeants. Par conséquent, les risques d'incohérence de données dans ces systèmes et d'inexploitation pour cause de différence du type d'une nouvelle donnée insérée sont très rares. En

⁴ Crowdsourcing : C'est une pratique qui consiste à faire appel au public pour l'approvisionnement d'idées et de propositions en vue de traiter des sujets déterminés.

⁵ Data Mining : ou encore fouille de données, elle désigne l'analyse de données depuis différentes perspectives et le fait de transformer ces données en informations utiles, en établissant des relations entre les données ou en repérant des patterns.

⁶ Business Intelligence : aussi appelée informatique décisionnelle, c'est l'ensemble des outils et méthodes visant à transmettre les informations pertinentes aux managers d'entreprise.

⁷ Merise : Merise est une méthode de réalisation de système d'information.

⁸ UML : Unifying Modeling Language, c'est un langage de modélisation de système d'information.



plus, des technologies comme les bases de données relationnelles prennent en charge et veillent sur la plus grande partie de ces mesures de sécurité [15]. Cependant, les systèmes classiques n'assurent pas la disponibilité des données et peinent à les traiter quand elles deviennent volumineuses et variées [16].

Dans un contexte de crise économique et sécuritaire, des départements de l'administration publique Malienne gagneraient beaucoup en productivité et en rapidité à travailler en synergie étroite dans la mise à disposition, les échanges et les exploitations de leurs données dans des systèmes d'information basés sur les technologies Big Data.

2.1 Potentiels des Big Data dans quelques secteurs administratifs au Mali

L'analyse prédictive aux services du développement des entreprises et des administrations est l'objectif principal des Big Data [6,17]. Pour ce faire, elles partent d'amas de données souvent volumineux et variés pour aider à prendre des décisions rationnelles et stratégiques pouvant contribuer au développement dans plus plusieurs secteurs de l'administration Malienne. Quelques exemples de ces secteurs d'applications sont la santé, l'économie et les finances, la sécurité et la défense.

a. La santé

D'énormes quantités de données de divers types sont produites quotidiennement par les consultations médicales. Entre autres, nous avons les données personnelles et d'antécédents médicaux, les prescriptions faites chez les patients, etc. Avec les systèmes Big Data, ces données peuvent être analysées et utilisées pour suivre l'évolution des épidémies dans des aires de santé déterminées et les endiguer. De tels systèmes contribueront à détecter des cas de fraude dans les systèmes d'assurance médicale comme celui de la CANAM (Caisse Nationale d'Assurance Maladie).

b. L'économie et les finances

Chaque jour, des centaines de milliers de clients font des opérations financières dans les banques. Ces opérations, leur gestion nécessitent en amont des données personnelles enregistrées sur les clients et génèrent en aval beaucoup d'autres sur leurs activités et sur leurs déplacements. L'analyse prédictive de ces jeux de données pourrait aider les décideurs de ces institutions financières à multiplier leurs agences dans une zone, à fournir des services de proximité et particuliers à leurs clients, à anticiper et détecter les cas de fraudes financières, fiscales, etc.

c. La sécurité et la défense

Les données sur les opérations financières évoquées ci-dessus peuvent être combinées et augmentées avec d'autres telles que celles géographiques, les données sur situations professionnelles d'individus

pour détecter des malfrats dans la société. D'autres données extraites des échanges sur leurs réseaux sociaux, par exemple, en disent beaucoup sur les activités quotidiennes des individus. Elles peuvent être analysées afin d'anticiper des insurrections, des rassemblements illégaux, voire d'anticiper des attaques terroristes.

2.2 Au-delà des avantages d'un système Big Data

L'adoption de toute innovation technologique nécessite naturellement de renoncer à certaines habitudes. La mise en place de système informatique et d'information requiert des dépenses. Pour le cas particulier des systèmes Big Data, ces dépenses peuvent paraître astronomiques aux yeux des néophytes. Toutefois, le rapport relatif à leurs apports à long terme sur les dépenses nécessaires à leurs réalisations est positif, notamment dans l'aide aux prises de décisions stratégiques. Donc, il faut voir ces dépenses comme des investissements à long terme au profit du développement durable des structures publiques et de l'amélioration continue des services qu'elles proposent.

En outre, les méthodes habituelles de planification et de réalisation des systèmes informatiques standards sont illusoire quand il faut développer des systèmes Big Data [17]. Cela est dû principalement à la complexité, l'instabilité et à la multiplicité des technologies utilisées dans le développement de ces systèmes Big Data. Idéalement, de tels systèmes doivent être conçus suivant l'approche agile. Dans leur réalisation, l'échec doit être envisagé et considéré comme une étape à part entière [6].

III. RÉALISATION D'UN SYSTÈME BIG DATA

L'avènement du concept Big Data, la production et la croissance très rapide des données notamment grâce au Web 2.0 ont permis la création de nouvelles technologies propices aux traitements adéquats de ces données et à l'émergence de nouveaux métiers, dont la Data Science [6,15].

3.1 Métier de Data Science

C'est un métier émergent dont le spécialiste, dénommé « Data Scientiste », doit être capable de vaguer sur les statistiques, les probabilités, les mathématiques, la modélisation, la programmation, etc. Plus important, il doit pouvoir maîtriser les processus métiers du ou des domaines d'application du système Big Data [6]. Pour élaguer, son travail consiste à prédire un phénomène probable dans un contexte déterminé. Cette prédiction est faite à partir de jeux de données relativement grands auxquels sont appliqués des algorithmes adéquats. Avec l'objectif principal d'aider dans la prise de décisions stratégiques ; les différentes phases de ce métier sont illustrées sur la Figure 1.



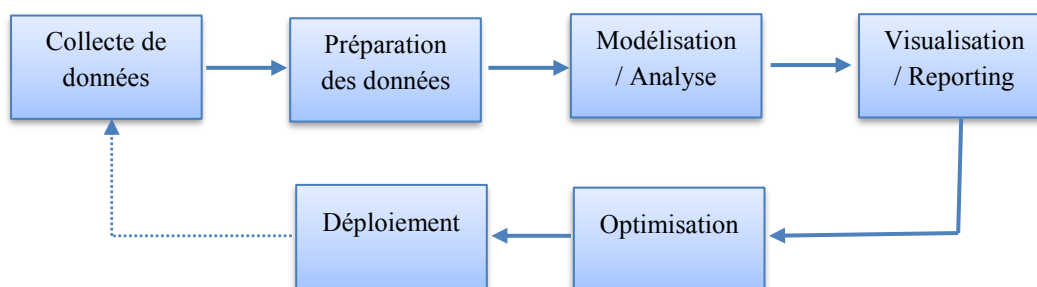


Figure 1 : Etapes du processus de travail d'un Data Scientist dans la réalisation d'un système Big Data de prédiction.

- La collecte des données est, comme son nom l'indique l'opération consistant à identifier et à rassembler les données manipulées dans le domaine d'application. Elle peut inclure l'extraction des données à partir d'autres systèmes [16].
- La préparation des données consiste à épurer les jeux de données collectées et à améliorer probablement certaines en fonction du phénomène à prédire. Ce phénomène devrait être imaginé et réfléchi au préalable [6,16].
- La modélisation / Analyse désigne la construction du modèle prédiction adéquat et le choix de l'algorithme propice pour l'apprentissage automatique à partir des données préparées [6,13].
- La visualisation/reporting est la construction d'interfaces et de graphiques conviviales au lieu de se contenter des formules mathématiques complexes. L'objectif est de permettre aux utilisateurs finaux de comprendre les phénomènes traités [6,16].
- L'optimisation consiste à faire des modifications sur le modèle, éventuellement sur la préparation des données afin d'avoir des résultats encore meilleurs au niveau de la prédiction [6,16].
- Le déploiement désigne la mise en service effective du système réalisé [6,16].

En amont et en aval de ces étapes, des outils et des technologies sont utilisés.

3.2 Technologies utilisées dans le développement d'un Système Big Data

Les Big Data ont donné naissance à d'autres formes de représentation de données différentes de la forme classique, la relationnelle. Ces nouvelles formes sont les données orientées documents, orientées colonnes, orientées graphes et les entités clé-valeur (ECV). Elles assurent la diversité et la disponibilité des données dans des systèmes Big Data qui sont réalisés en s'appuyant sur une panoplie de technologies. Deux aspects très importants dans ces systèmes sont le parallélisme qui assure la rapidité de traitement des données (volumineuses et variées) et l'infrastructure logicielle nécessaire à cela. Le

premier est assuré par l'algorithme MapReduce et le second par le framework Hadoop. Les détails techniques de ces technologies ne sont pas faits dans cet article. Le lecteur peut faire recours aux travaux dont les références sont : [6,13,16].

IV. CONCLUSION

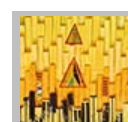
L'informatique décisionnelle fournit des outils pouvant contribuer grandement au développement et à la bonne gouvernance des administrations publiques et des entreprises. Les Big Data sont les dernières à rentrer dans la liste de ces outils, mais elles sont très loin d'être les moins importantes. Dans cet article, nous avons exploré les potentiels de l'utilisation des Big Data. Nous y avons décrit théoriquement les avantages de leurs utilisations dans quelques secteurs de l'administration publiques tels que la santé, l'éducation, l'économie et les finances et la sécurité. Les étapes de la mise en place d'un système Big Data ont été décrites sans oublier les difficultés liées à leur réalisation. La conception et le développement de tels systèmes dans l'un des secteurs cités ci-dessus, dans un cadre pratique et sur des Big Data réelles, sont des perspectives à nos travaux dans cet article.

RÉFÉRENCES

- [1] J. Cariolle, Boom de l'économie numérique en Afrique Subsaharienne : quelles perspectives pour l'emploi ?, Fond. Pour Les Études Rech. Sur Le Développement Int. Boom. (2018).
- [2] J. Cariolle, Infrastructure et économie numérique en Afrique subsaharienne et dans l'uUEMOA : état des lieux, acteurs, et nouvelles vulnérabilités, (2019).
- [3] K. Musial, M. Budka, K. Juszczyszyn, Creation and growth of online social network, World Wide Web. 16 (2013) 421–447. doi:10.1007/s11280-012-0177-1.
- [4] D. Diarra, M. Clouzot, C. Nicolle, Causal reasoning and symbolic relationships in Medieval Illuminations, J. Data Min. Digit. Humanit. Special Is (2018). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01762730/document>.



- [5] O. Ninot, Révolution numérique et développement en Afrique : une trajectoire singulière, 1 (2018).
- [6] P. LEMBERGER, B. Marc, M. Médéric, R. Jean-Luc, Big Data et Machine Learning, Dunod, Dunod, 2015.
- [7] G.H. Kim, S. Trimi, J.H. Chung, Big-data applications in the government sector, Commun. ACM. 57 (2014) 78–85. doi:10.1145/2500873.
- [8] K.H. Coble, A.K. Mishra, S. Ferrell, T. Griffin, Big data in agriculture: A challenge for the future, Appl. Econ. Perspect. Policy. 40 (2018) 79–96. doi:10.1093/aep/px056.
- [9] K. Bronson, I. Knezevic, Big Data in food and agriculture, Big Data Soc. 3 (2016). doi:10.1177/2053951716648174.
- [10] M.E. Sykuta, Big Data in Agriculture: Property Rights, Privacy and Competition in Ag Data Services, 2016.
- [11] B. Feldman, E.M. Martin, T. Skotnes, Big Data in Healthcare Hype and Hope, 2012.
- [12] J.C. Bertot, H. Choi, Big data and e-government, (2013) 1. doi:10.1145/2479724.2479730.
- [13] M. Janssen, J. van den Hoven, Big and Open Linked Data (BOLD) in government: A challenge to transparency and privacy?, Gov. Inf. Q. 32 (2015) 363–368. doi:10.1016/j.giq.2015.11.007.
- [14] M. Grela, K. Kulesza, M. Zagórowska, ..., Crowdsourcing and Defence, in the age of Big Data, Inst. Math. (2015).
- [15] B. Klievink, B.J. Romijn, S. Cunningham, H. de Bruijn, Big data in the public sector: Uncertainties and readiness, Inf. Syst. Front. 19 (2017) 267–283. doi:10.1007/s10796-016-9686-2.
- [16] A. Gandomi, M. Haider, Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics, Int. J. Inf. Manage. 35 (2015) 137–144. doi:10.1016/j.ijinfomgt.2014.10.007.
- [17] P. Lemberger, M. Batty, M. Morel, J.-L. Raffaëlli, M. Delattre, Big data et machine learning : manuel du data scientist, Dunod, 2015.



**SCIENCES SOCIALES, POLITIQUES DE
L'EDUCATION ET GENRE / HUMANITIES AND
GENDER**



Vers les origines historiques du dioula véhiculaire

Mamadou Lamine Sanogo

Département de Linguistique et des Langues Nationales
Centre national de la recherche scientifique et technologique

Institut des sciences des sociétés

Email : malamine1@gmail.com

RESUME : Versant linguistique de l'histoire des communautés, la langue est non seulement un outil de communication, mais elle aussi la mémoire collective, la référence psycho-sociale et l'espace d'identité et d'identification de la communauté de ses locuteurs. L'histoire des langues dans le monde a longtemps été orientée par les politiques des Etats dans un but idéologique consistant à utiliser « la langue » comme le ciment d'édification des nations autour de valeurs communes. Ce n'est donc pas un hasard si aux nations historiques constituées correspondent des glossonymes. Inutile de rappeler, cependant que ces langues débordent largement les frontières politiques des Etats-Nations ci-dessus cités, d'une part et qu'elles partagent leur espace avec d'autres langues, d'autre part. Ainsi, dans le contexte mandé, mandingue puis dioula, l'idéologie linguistique implicite, non écrite est à la base d'une nouvelle identité dioula, ensuite urbaine et maintenant le Grand-Ouest du Burkina Faso et le Nord ivoirien.

Mots-clé : langue véhiculaire, grégaire, vernacularisation, véhicularisation, dialecte ouvert

Considéré comme le parler le plus proche du bambara de Bamako, le dioula véhiculaire ou dioula de Bobo-Dioulasso encore appelé bambara-dioula, dioula urbain... est un parler mandingue pan-local, un koïné mandingue accessible pour les locuteurs des différentes formes : dioula de Côte d'Ivoire, parler bambara ou bamanankan du Mali et dans une certaine mesure, le maninkakan de Guinée, du Sénégal, le mandingo de Gambie... Très dynamique et sans doute par la prise de conscience et la volonté manifeste de ses locuteurs, il semble se démarquer du bambara considéré jusqu'à présent dans l'espace mandingue comme la forme de référence. Ainsi, on note ces derniers temps, un certain regain d'intérêt d'une nouvelle classe de locuteurs natifs considérés comme locuteurs légitimes qui n'hésitent plus à le revendiquer comme le principal indicateur de l'identité linguistique, de leur identité urbaine et ou de leur appartenance au Grand Ouest du pays. Du coup, les relents de satellisation par rapport au bambara qui animaient les premiers chercheurs, auteurs des documents écrits, des pionniers de l'alphabétisation, des marabouts prêcheurs, et des animateurs radio et télévision... sont confrontés à une identité linguistique différente dioulaphone et pleinement assumée.

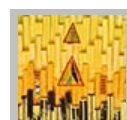
Cependant, si de nombreux auteurs continuent de penser que ce dioula est plus proche du bambara que du dioula de Kong (Coulibaly K. 1983, Coulibaly B. 1984, et Keita A. 1990), avec qui il a pourtant aussi une histoire, rares sont les travaux qui ont essayé de démontrer les raisons ou du moins les explications de cette nature particulière. Ce dialecte ouvert – au sens de Endersen H. (1988)- et très dynamique se caractérise par la tendance à se cristalliser sur des éléments linguistiques qui le particularisent et sur

lesquels il se fonde son identité propre (Sanogo M.L., 2000).

Le but du présent texte est d'exposer la dynamique langagière de cette partie du Burkina Faso dans une perspective historique. Nous fondant sur le cadre de référence de la sociolinguistique urbaine de l'école rouennaise, nous allons montrer cette interaction entre langue et société dans la dynamique et le processus de construction identitaire qui sont deux facteurs les plus importants de son histoire.

Pour se faire, nous partirons de deux hypothèses. Dans un premier temps, nous pensons, à la suite de Calvet L.-J. (1987) que l'histoire de la langue est le versant linguistique de l'histoire de la communauté. Par conséquent, une meilleure connaissance de ce volet permettra sans aucun doute d'avoir une perception plus large de l'histoire de la communauté de locuteurs de cette langue. Ensuite en deuxième lieu, nous pensons, comme Houis M. (1961) que le dioula véhiculaire est le stade actuel d'une longue évolution des pratiques langagières convergentes des populations ayant la même histoire de la boucle du Niger et que la dynamique urbaine moderne est le principal moteur de son évolution actuelle.

Nos intérêts principaux pour les présentes recherches qui sont inspirées du cadre théorique la sociologie de l'Ecole de Chicago sont de deux natures essentiellement. Dans un premier temps, l'usage d'une même langue étant à la base de la formation des communautés linguistiques et plus tard le facteur de cristallisation des identités nationales, nous estimons que suivre la dynamique langagière est l'une des voies les mieux indiquées pour bien comprendre les processus identitaires (Sanogo M.L. 1999). En deuxième lieu, si la représentation des langues en usage au sein d'un



groupe participe réellement à la détermination des identités ethniques, sociales et politiques, il faut reconnaître que les identités ne sont ni des données immédiates ni des données stables. Par conséquent, l'observateur doit tenir compte de l'identité en tant que processus dynamique en construction permanente dans laquelle la langue ou du moins les pratiques langagières, surtout urbaines sont l'une des composantes essentielles.

Le présent texte comportera ainsi deux grandes parties : D'abord, nous allons analyser le cycle d'évolution du mandingue en tentant de remonter aux premières heures de son expansion. Nous nous inspirerons des travaux des historiens comme Person Y (1968) et Ki-Zerbo (1978), de linguistes comme Houis M. (1961). Ensuite, nous allons étudier la dynamique urbaine actuelle, notamment le processus urbain et ses conséquences sur l'évolution actuelle de cette langue. Dans cette perspective, nous estimons qu'à l'instar des autres langues véhiculaires en milieu urbain, le dioula n'est ni une langue simple (Gadet F. 1991) ni une langue aliénée (Gobard H. 1976).

L'expansion du mandingue

Si les premiers scientifiques ayant étudié l'Afrique de l'Ouest ont été frappés par la diversité des cultures et de hommes dans un contexte d'une harmonie linguistique de l'espace mandé (Person Y (1968), il faut reconnaître que remonter aux périodes aussi lointaines dans l'histoire des communautés africaines n'est pas chose aisée surtout en ce qui concerne les événements sociaux comme la langue. Cependant, nous pouvons saisir cet événement historique en mettant bout à bout des fragments d'événements qui ont le plus souvent un lien avec la langue.

1. La période préhistorique ou proto mandingue

Ainsi, les origines de l'expansion du *proto-manding* ou *mandé* se situeraient d'après Y. Person (*op. cit.*), aux alentours du deuxième millénaire avant notre ère. Cette expansion serait le fruit d'une série de révolutions économiques et sociales mettant les ancêtres du monde mandé dans une posture de suprématie par rapport aux voisins.

La première phase qui aurait débuté avec "*la cristallisation d'un berceau d'agriculture sur le Haut Niger*". Les peuples locuteurs du Mandé auraient alors confirmé leur supériorité économique et partant, politique sur leurs voisins en domptant et en domestiquant du riz africain (*Oriza glaberrima*). Et comme conséquence, le pouvoir économique acquis suite à cette technologique procure un avantage certain et il a été démontré par les travaux de Houis M. (1961) que le prestige économique a eu pour conséquence l'expansion culturelle, économique et linguistique des Mandé.

Suivra ensuite la deuxième phase marquée par la découverte de la métallurgie du fer au début de notre ère avec comme conséquence une révolution dans les techniques de production agricole, dans l'art militaire et le prestige économique et culturel. Cette révolution technologique du domaine mandingue aurait entraîné les changements les plus notables, notamment l'influence des Proto-Mandé sur leurs voisins, voire sur ceux se trouvant plus loin.

Enfin, nous savons que la découverte des mines d'or du *Bouré*, du *Kalana*, du *Gandiara*, etc. viendront ouvrir les Mandé au reste de l'humanité, surtout en direction du monde arabe. Ainsi, au plan économique, l'ouverture des routes commerciales avec le commerce du sel, de pacotilles, d'or..., la création de grandes cités commerçantes comme *Néma* (capitale de l'empire du Ghana), *Djenné*, *Tombouctou*, *Gao* sont des moyens d'extension culturelle non négligeables. Le Mandé devient alors le plus grand centre de rayonnement culturel et économique de la région comme le note Y. Person (1968 : 48) : « *Au long de plusieurs millénaires la famille mandé, en mutation constante, aurait donc été le principal épiscentre culturel de l'Afrique occidentale* ».

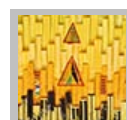
Si nous connaissons très peu de choses sur la nature de la langue en elle-même à cette période, c'est-à-dire le proto mandé, il faut tout de même accepter que cette dernière peut être considérée – à juste titre- comme celui qui a jeté les bases de l'expansion de la langue mandingue telle que nous la connaissons actuellement.

2. La période historique

Du point de vue des historiens, l'expansion de la langue mandingue actuelle se serait le résultat du rayonnement technologique, économique, diplomatique et militaire des grands empires que sont le Ghana (700-1200) et le Mali (1200-1500) puis, ... et des Royaumes dioula. Ces entités politiques et militaires successives constituent des tournants marquants de l'histoire des peuples du bassin du fleuve Niger et des transformations culturelles, notamment linguistiques, survenues dans de nombreuses communautés de la sous-région. Nous pouvons ainsi diviser l'histoire de la langue mandingue en trois parties correspondant aux trois principales périodes. La première est celle de l'Empire du Ghana. Cette période est suivie par celle qui correspond à l'Empire du Mali. Quant à la troisième période, elle englobe des Royaumes dioula et Bambara et elle aboutit à la glottogénèse des formes véhiculaires actuelles que sont les parlers bambara, malinké et dioula qui restent des grands groupes de dialectes au sens de Delafosse M. (1929).

Première période : l'Empire du Ghana

Le Ghana est le premier empire noir connu en Afrique au sud du Sahara. Créé entre les VI^e et VIII^e



Siècles par les Soninké *Cissé*, il regroupait dans une fédération de principautés dont le *Tékrur*, le *Diarra*, le *Soso*, le *Mali*, et puis *Gao*. Plusieurs sources écrites font référence à cet empire dont le rayonnement a été légendaire sur les plans économique (or), culturel (urbanisation, littérature, etc.), politique et la diplomatie.

Les grandes tendances qui se dégagent de ces sources historiques nous permettent de mettre en rapport des faits linguistiques et la mobilité sociale, économique et géographique de la communauté mandingue. Cette mobilité est d'après M. Houis (1961), le facteur le plus important de l'expansion de la langue mandingue. En effet, la mobilité introduite dans cette communauté est consécutive à une mutation anthropologique elle-même due au changement de mode de production dont les racines remontent aux progrès technologiques dans la métallurgie, à l'exploitation de l'or et l'agriculture. Les habitants des zones traversées voient alors leur système économique bouleversé par l'arrivée massive de nouveaux produits comme les pacotilles, générateurs de nouveaux besoins, comme le veut la loi de l'évolution économique.

Cette nouvelle donne économique va alors influencer l'organisation sociale des habitants de l'Empire du Ghana. A titre d'exemple, rappelons que le commerce qui a été l'une des principales innovations dans cette Afrique au Sud du Sahara s'est installé de façon progressive. En effet, le commerce attire alors certains agriculteurs qui s'y adonnent de façon temporaire avant de finir par y adhérer définitivement en se spécialisant au sein de la communauté mandé. Les *suq al jiwula* ou marchés hebdomadaires à la manière des arabo-berbères remplacent le troc ponctuel. C'est donc la naissance d'une nouvelle classe de itinérants *al jiwule*¹ consiste allant de marché en marché en fonçant plus au Sud vers les zones où les arabo-berbères ne portaient pour diverses raisons. L'émergence des marchands *Jula* est donc le produit d'une mutation sociale qui s'est faite sur place. C'est ce qui a fait écrire J. Suret-Canale (1979 : 128) :

"Il ne faut sans doute pas attribuer à un hasard le fait que les deux peuples fondateurs des premiers grands États du Soudan occidental soient aussi ceux qui ont fourni les principaux peuples commerçants de cette région : Sarakolé, héritiers des maîtres de Ghana et Dioula, appartenant au groupe Mandingue créateur de l'empire de Mali".

Cette organisation politique et économique nouvelle dans cette zone constitue un atout important pour le changement du paysage socio-politique. Le cas de

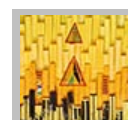
l'Empire du Ghana, à l'époque, est une originalité historique sur de nombreux plans. D'abord, l'empire est extrêmement vaste comportant des royaumes fédérés et leurs dépendances avec langues, leurs dialectes, et les parlers divers. De même, son essor économique le met en contact avec le monde extérieur, en l'occurrence arabo-berbère malgré la barrière linguistique et des apports nouveaux, au plan économique, religieux, linguistique.... Cette puissance politique et économique nécessite et facilite le déplacement à l'intérieur de ce vaste espace, ce qui met la communauté face à « une situation de crise linguistique », car des peuples différents se retrouvent et ne parlent pas nécessairement la même langue, d'une part et pour ceux qui parlent la même langue n'utilisent pas nécessairement le même dialecte, d'autre part. Or, l'unité politique et l'essor économique sont, on le sait d'importants facteurs de cohésion sociale au sein des groupes humains en pleine restructuration. D'après Houis M. (1961), les conditions favorables à un changement allant dans le sens d'une intégration linguistique avec ses différentes phases sont alors remplies à cette époque de l'histoire de l'Empire du Ghana.

Ainsi, à partir de la nécessité pour les marchands itinérants de communiquer avec les utilisateurs des autres langues, d'une part et formes locales du mandingue, d'autre part, tout au long de leurs routes, il se met progressivement en place un parler spécifique supra-local servant à la fois de lien entre ceux qui ne parlent pas le même dialecte de la même langue, mais aussi ceux qui ne parlent pas le mandingue. « Les colporteurs dioula » acteurs du commerce et circulant entre les différentes contrées de l'espace mandé seraient à l'origine de ce parler. Calvet L. J. (1981 : 33) écrit à ce propos que :

"(...) Ces caravanes de commerçants mandingues transportant leur or dans un sens, leur sel dans l'autre ont été les premiers acteurs de la lente apparition d'une langue véhiculaire en ces lieux..."

La caractéristique principale de ce parler en gestation est qu'il est une sorte de tentative surmonter les difficultés liées aux particularités des formes locales afin de pouvoir communiquer. En d'autres termes, les actifs et locuteurs des parlers locaux qui sont en relation avec le monde des échanges, du commerce utilisent ce parler dans des situations les mettant en contact avec d'autres formes du mandingue dans ce que Houis M. (1971) a appelé un bilinguisme d'opportunité. De par sa fonction de relations inter-dialectales elle est, de ce

¹Expression arabe dialectale *jewule* signifie itinérance finira par intégrer la forma canonique de la langue mandingue en donnant *jula*.



fait, appelée à juste titre par les locuteurs eux-mêmes *kange*, *kangwe*². Compte tenu de sa fonction, on peut dire qu'il s'agit à l'origine d'une *lingua franca* ou d'un *mandingue commercial*. Calvet L-J. (1981 : 36) :

"(...) Il existe en même temps une sorte de *mandingue commun*, support de l'expansion de la langue, que les locuteurs ont baptisé *kanjè*. La *kanjè* est comprise par tous les locuteurs des différents dialectes, car elle constitue une sorte de neutralisation des différences ; un lieu commun."

L'usage du *kange* se fait par stratégie de communication en vue d'une efficacité des messages entre personnes n'utilisant pas les mêmes formes locales. Mais à domicile ou au sein de leur communauté, ils continuent d'utiliser leur parler local, ce qui consacre alors la répartition fonctionnelle des langues et dialecte en présence entre le pôle grégaire (langue ou formes locales) et le pôle véhiculaire (*kange*). Nous sommes alors, avec la naissance du *kange*, dans la phase première du bilinguisme d'opportunité, d'après Houis M. (1971). Cette *lingua franca* ou *kange* n'est utilisé que d'une façon bilatérale c'est-à-dire lorsque la situation de communication met face à face deux locuteurs de formes locales différentes. En usage de façon occasionnelle, le parler inter-dialectal est une sorte de langue pauvre avec un vocabulaire réduit correspondant aux besoins d'échanges commerciaux qui sont aux origines de son émergence. Ainsi, le *kange* est d'abord une sorte de parler instable comme les pidgins avec un vocabulaire pauvre dont le stock est limité au domaine des échanges mettant en contact les locuteurs des nombreux dialectes et de langues différentes.

Interviendra les guerres fratricides dont l'aboutissement sera la chute de l'Empire du Ghana qui tombera sous la domination des forgerons du Soso. Soundiata bâtit alors le nouvel empire sous le nom Mali à la tête d'une coalition comptant 12 rois et de nombreuses autres principautés, ce qui constitue une nouvelle reconfiguration humaine avec des conséquences sur les plans ethnique, économique, culturelle et surtout linguistique.

Deuxième période : l'Empire du Mali

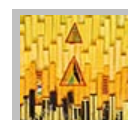
Après avoir mis les forgerons de Soumahoro en déroute en 1235, Soundiata Keita est couronné à la tête du nouvel empire libéré, le Mali. S'attelant aux activités de réorganisation en se fixant comme priorité la relance de l'économie, des réformes politiques sont entreprises avec des alliances plus importantes du point de vue géographique que sous l'Empire du Ghana. La paix est restaurée et le

commerce reprend de plus belle. Mais, pendant ce temps, il faut noter que les Dioula se avaient profité de la dérive des Mandé pour constituer, pour la plupart, en des entités politico-économiques importantes. Il s'agit du Guiriko, de Bhego... Ces nouvelles royaumes dioula sont dorénavant des partenaires du Mali pour l'acheminement de l'or vers le Nord et son approvisionnement en pacotille et en sel. Une fois de plus, la situation évolue en faveur du *kange*. Cette fois, il faut tenir compte du fait que les Dioula se sont constitués en entités politico-économiques plus ou moins autonomes dont le grand emporium de *Béghe*, de *Boron* et de *Mankono*. A la destruction de *Béghe* au XVI^e Siècle, les Dioula se retirent dans *Abron* et créent *Bondougou* (J. Ki-Zerbo (1978 : 263).

La période du Mali consacre le *kange* à fonction véhiculaire dans les zones contrôlées par les Dioula et les parlers locaux à fonction vernaculaire dans les autres parties du pays. Ainsi, ces entités dioula ont pour code commun le *kang*□□ qui est le lien dans lequel se reconnaissent ceux qui appartiennent à ces nouvelles entités politiques. Celui-ci devient, par conséquent leur langue première par vernacularisation et assure désormais la quasi-totalité des fonctions de communication au sein de la communauté. La situation sociolinguistique du mandingue évolue alors vers une harmonisation de l'univers sous la pression du dialecte supra-local assurant la fonction véhiculaire et la régression des formes locales. Mais, il se passe également que la forme supra-locale au Mali côtoie une forme supra-locale en cours de vernacularisation chez les Dioula plus au Sud de la zone linguistique. Le processus de vernacularisation du *kange* chez les Dioula passe par la deuxième phase du bilinguisme de complémentarité de M. Houis (1971).

Ce bilinguisme ne se limite pas aux seuls domaines des échanges économiques car il y a toute une organisation sociale qui se met en place. La quasi-totalité des systèmes sociaux et des usages sont alors sous le contrôle de cette forme qui était jusqu'à présent supra-locale. Elle construit donc son stock lexical à partir des usages des formes locales en contact et bien d'autres langues en usage. De plus, le *kange* ou dioula supra-local qui était la langue des lieux de rencontre dans un premier temps est désormais entrée dans les familles. Les formes locales deviennent alors des éléments d'archaïsme qui s'opposent au modernisme, au progrès que véhicule le *kang*□. Cette forme supra-locale permet progressivement une fusion des identités. Ce n'est pas par un simple hasard que tous les Dioula nomment les parlers ethniques *kang*□. On pourrait

² *Kanjè*, *Kange* ou encore *kangbe* composé de *kan* (langue ou dialecte) et *ge* (claire) ce qui signifie « langue claire ».



dire que cette forme linguistique devenant vernaculaire a pleinement joué son rôle de cohésion sociale dans cette partie du domaine mandingue.

Le *kange* ne reste cependant pas la langue première des seuls Dioula. Ces derniers, une fois réorganisés du point de vue économique et militaire, lancent à leur tour une offensive contre les peuples animistes. Ils s'appuieront sur ces royaumes satellites en vue de poursuivre l'extension de leur influence socio-économique et politique. C'est dans cet ordre d'idée que s'inscrit le projet de reconquête et de reconstruction du mandé, entrepris par l'Almamy Samori Touré (Person (1969).

Troisième période : les Empires dioula

En relançant leurs influences culturelles, politiques et économiques vers les régions animistes et agricoles, les Dioula ont répandu par la même occasion leur langue qui rencontre des langues locales. La figure marquante de cette nouvelle dynamique économique, politique, militaire et culturelle dioula reste Samori Touré.

Ce nouveau départ vers des zones linguistiques restées réfractaires à l'influence historique du Mandingue se traduit par l'arrivée puis l'imposition du dioula comme langue seconde. Ainsi, si les Dioula ont privilégié la diplomatie à la guerre, ils n'ont tout de même pas laissé le choix aux autochtones quant aux instruments de communication. En redevant véhiculaire, cette langue des Dioula passe alors par les différentes étapes du bilinguisme subit ainsi les interférences des langues premières des locuteurs auxquels elle vient d'être, en quelque sorte, imposée. De ce contact, en se fonctionnalisant de nouveau, le *kangbè* connaît des processus de sabirisation et de pidginisation que d'aucuns vont considérer comme une simplification.

Il faut cependant retenir que l'action de Samori aura une portée sans précédent dans ce qui sera la suite de cette expansion. Son action d'islamisation par la force a pénétré dans les plus petits hameaux et c'est dans ce sens qu'il faut évaluer, à juste titre, les conséquences de l'action de Samori. Même sa mort le 2 juin 1900 au Gabon n'a pas interrompue cette expansion. Car, très vite l'administration coloniale va s'appuyer sur les langues de grande diffusion dans un bilinguisme de complémentarité. Fidèle à sa mission civilisatrice, la colonisation française va former des auxiliaires indigènes dans un système de scolarisation précaire « sans prétention académique ». Ainsi, la connaissance de langue de grande diffusion qu'est le mandingue sera un avantage pour ceux qui prétendent à un travail d'auxiliaire mais procure aussi des avantages financiers à des colons membres de l'administration. Cette fois, le choix est porté sur « le bambara », qui est loin d'être un parler standard, mais une forme

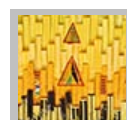
supra-locale qui se démarque du bambara grégaire. (VAN DEN AVENNE C. (2005). Il sera en usage comme langue de commandement des troupes indigènes dans les garnisons dont Bobo-Dioulasso qui est en plus un carrefour commercial coloniale. Les bases de l'émergence d'un dioula nouveau sont ainsi lancées.

Le dioula urbain

Nous n'aborderons pas ici la question historique des origines des populations car nous avons largement relaté le long cycle de restructuration sociale et institutionnel des Mandé et leurs voisins. De même, les mouvements consécutifs à cette histoire mouvementée suffisent à nous faire comprendre que les populations utilisant le mandingue de nos jours sont loin d'avoir une seule et même origine comme nous l'avons vu tout au long de la première partie. De même, si l'histoire des communautés qui cohabitent à Bobo-Dioulasso est fondamentale pour comprendre la situation d'aujourd'hui retenons que cette ville coloniale s'est développée grâce aux apports multiples des populations venues par vagues successives constitués successivement des Bobo-mandarè puis des Dioula, des Tiéfo... et pendant la période coloniale des Syro-libanais, des Sénégalais, des Soudanais, des Senufu, des Peuls, des Dogons, des Toussian, des Loby, des Dagara, des Dafin, des Moose... En rappel, cette cité commerciale pré-coloniale a été une base militaire française regroupant des troupes indigènes de divers hommes originaires de la sous-région communément appelée à l'époque Soudan français. Si la langue de l'administration coloniale était donc le français, celle du commandement de ces troupes était le « bambara simplifié » (Van Den Avenne C. 2005).

Ainsi, la ville de Bobo-Dioulasso qui est considérée comme le cadre d'émergence du dioula véhiculaire ou dioula urbain connaissait à l'origine des ressources culturelles apportées par des populations diverses (langue, tradition, culture...). De même, au dioula ethnique et dioula commercial en fonction véhiculaire était donc juxtaposé un « bambara simplifié », le tout formant le substrat linguistique mandingue sur lequel va se développer une forme ou des formes urbaines de la ville. Malgré les attitudes diverses des communautés en présence, la tendance générale reste le développement d'un dioula de la ville considéré comme la principale référence linguistique identitaire, ce qui rend quelque peu complexe la nature du dioula parlé à Bobo-Dioulasso et qui a fait l'objet de nombreux travaux de recherche.

En effet, certains linguistes font référence, pour la ville de Bobo-Dioulasso ou pour l'ensemble du Burkina Faso, à un dioula générique, sans aborder la variabilité de cette langue : c'est le cas de Ouoba (1983), de Napon (2003) et de Batiana et Caitucoli (1993). Tout se passe, à la lecture de ces travaux



comme si le dioula constitue une entité homogène dont les contours sont clairement délimités. En revanche, nous avons d'autres spécialistes qui, dans leurs approches respectives, choisissent la méthode qui met l'accent sur la variation. En Côte d'Ivoire, le critère de distinction entre les formes pratiquées en Côte d'Ivoire est fonction de l'appartenance ethnique ou non au groupe mandingue (Dumestre et Retord (1974), Partmann G. (1975). En revanche, au Burkina Faso, Coulibaly B. (1984) fait la distinction entre trois formes linguistiques différentes pour le mandingue parlé dans ce pays. Il s'agit d'abord des deux dioula ethniques qui sont le dioula d'Odienné parlé par la forte communauté implantée au Burkina Faso, le dioula de Kong parlé à Loropéni, Loroosso, Peni et Kombougou et enfin un dioula véhiculaire qui serait parlé dans les situations de communication courante et surtout urbaine. Quant à Keita A. (1990), il trouve ainsi une seule variété ethnique qui est le dioula de Kong ; ensuite une variété véhiculaire ou commerciale qui serait parlé par des locuteurs ayant le dioula comme langue seconde essentiellement en fonction de communications interethniques et, enfin une variété en voie de revernacularisation en usage chez les natifs de Bobo-Dioulasso. Ce dernier parlé serait le plus jeune car datant d'environ cinq générations.

Pour notre part, nous estimons que l'appartenance ethnique mandingue ou non mandingue est un paramètre non négligeable, mais qu'il faut manipuler avec beaucoup de prudence. Le cas du wolof, une autre langue véhiculaire très répandue au Sénégal est une illustration parfaite de cette situation³. En effet, les groupes dits ethniques et les dynamiques linguistiques sont souvent si opposés qu'il ne faut pas tomber dans le piège de la fausse équation communauté linguistique égale communauté ethnique. Même si certains comme Breton R. (1992) ont défini l'ethnie au sens large comme ceux qui parlent la même langue maternelle, les espaces urbains actuels connaissent des générations nouvelles utilisant la langue de la ville ou même souvent le français comme langue maternelle, voire unique langue parlée.

Par conséquent, si les variétés des natifs et des non-natifs peuvent être utilisées comme des concepts opérationnels, nous sommes tout de même en face d'un continuum linguistique où les frontières sont difficiles à matérialiser. Aucune étude, dans ce cadre, n'a pu donner de façon définitive les limites linguistiques des différentes variétés, sans doute parce que, à notre sens, il n'existe pas de frontière objective entre les formes en présence dans le dioula véhiculaire. Néanmoins, Coulibaly B. (1984) et Dérive J. (1976) font intervenir la spécificité morphophonologique et grammaticale des variétés mais on constatera dans leurs travaux que les traits spécifiques qu'ils dégagent de l'une ou l'autre forme ou variété reposent sur une distinction stricte entre les fonctions des différentes variétés ainsi que sur des caractéristiques formant des pôles de variabilité ou tendance. Il s'agit des différences phonologiques, morphologiques...

Nous nous sommes proposé de marquer ce que les dioulaphones considèrent comme leur particularité : Il s'agit de retenir ce qui est considéré et reconnu comme le dioula de Bobo-Dioulasso. Nous avons largement consacré des travaux aux aspects liés à cette reconnaissance et aux particularités linguistiques propres de cette ville. Cependant, il faut retenir qu'elle est en passe de devenir le dioula de l'Ouest grâce au nivellement linguistique porté par la jeunesse chez qui les particularités régionales sont de moins en moins présentes. (Sanogo M.L. 2006) Ensuite, nous estimons qu'il faut distinguer ce qui relève des particularités des autres dialectes mais acceptés comme appartenant au dioula (ce que l'on accepte comme faisant partie du dioula et ce que l'on n'accepte pas). C'est le cas des accents régionaux comme :

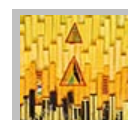
Sur le plan phonologique

Sur le plan phonologique, les pratiques du dioula véhiculaire laissent voir les différences suivantes avec le bambara :

- alternance l/d	- alternance l/j
o a la / a da « couche-le »	o alɔ / a jɔ « mets-le debout »
- alternance s/ʃ	- ʃɔ / sɔsɔ « haricot »
o ʃɛ / sisɛ « poule »	o ʃi / si « karité »

³ Voir JUILLARD, M.-L. MOREAU, P. A. NDAO, N. THIAM, 1994, « Leur wolof dit-il qui ils sont ? », in langage et société, n°

68, Juin 1994, Maison des Sciences de l'homme, Paris, pp. 35-62. etals. cf. notre Bibliographie.



Dans le dernier cas, il s'agit, comme on peut le voir, d'une alternance conditionnée. Ainsi, devant une voyelle haute ou une voyelle antérieure, le *s* du dioula devient *ʃ* en bambara.

Quant aux différences phonologiques avec le dioula ethnique, on remarque surtout l'alternance entre *l* et *r* en contexte intervocalique et la survivance de la vélaire dans le même contexte :

alternance -l- /-r-

o *bolo / boro* « la main » o *kolo / koro* « l'os » o *gwolo / gboro* « la peau »

survivance de la vélaire o *tagama / taama* « la marche » o *taga* « partir » / *taa* « partir »

De même, la labio-vélaire *gb*, qui est considérée comme une particularité du dioula par rapport au bambara, a une occurrence beaucoup marquée chez des locuteurs sous influence du dioula ethnique¹. En revanche, la forme simple de cette vélaire semble être l'influence du bambara *ga* « foyer (cuisine) » et cela peut aller jusqu'à la palatalisation en *j* comme dans *j* « blanc/propres », alors qu'en dioula, on entendra *gweman* blanc (couleur) ou *a ko k'agw* (lave-le proprement).

Sur le plan morphologique

a) les morphèmes aspecto-temporels

L'expression de la forme progressive du dioula véhiculaire se construit avec l'adjonction de la marque du progressif -ra à la base verbale :

Dioula véhiculaire	Dioula ethnique	Bambara	Français
<i>A bi taara</i>	<i>A bi tagara</i>	<i>A be ka ta taa</i>	il s'en va
<i>N bi nana</i>	<i>n bi nana</i>	<i>n be kana / n be nalen</i>	j'arrive
<i>U bi i weelera</i>	<i>A(ri) biyeweere</i>	<i>I bi ka weele</i>	ils t'appellent/ on t'appelle

Le pronominal

Un certain nombre de verbes sont toujours à la forme pronominale, aussi bien en dioula ethnique qu'en bambara. Or, dans les pratiques quotidiennes du dioula véhiculaire, ces mêmes verbes sont toujours à la forme simple.

Dioula véhiculaire	Dioula ethnique	bambara	français
<i>N taa ko</i>	<i>A bitaganko</i>	<i>A betaan ko</i>	il va se laver
<i>N bina la</i>	<i>n bina n la</i>	<i>n benan da</i>	je vais me coucher
<i>A bi min</i>	<i>Ari b'imin</i>	<i>A bi i min</i>	il boit
<i>A minna ka fa</i>	<i>Ari yii min k'ifa</i>	<i>A yiifa</i>	Il est saoul

Les dérivatifs²

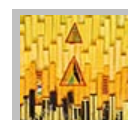
L'une des particularités du dioula véhiculaire est la baisse de l'usage des dérivatifs. Il convient de faire la distinction entre les dérivatifs suffixés et les dérivatifs préfixés car l'attitude et la représentation des usagers du dioula véhiculaire ne sont pas les mêmes, face à ces deux catégories. En effet, là où l'on entend généralement les formes dérivées dans les parlers comme le dioula ethnique ou le bambara, les locuteurs du dioula véhiculaire se reconnaissent des formes analytiques.

Les suffixes

Dioula véhiculaire	Bambara	Français
<i>Min bi tugu</i>	<i>Kabagan-nci</i>	qui fait semblant

¹ Sanogo M. L., 2001, « Étude sociolinguistique des occlusives labio-vélaires du dioula », dans *les Annales de l'Université de Lomé*, Série Lettres, Tome XXI 2001, Volume 2, 199-212.

² Sanogo M.L., 2003, « Vers une approche sociolinguistique des dérivatifs en dioula véhiculaire », dans les *CAHIERS DU CERLESHS*, 1^{er} numéro spécial, juin 2003, Université de Ouagadougou, 221-223.



<i>Hakili ti mɔgɔ min fɛ</i>	<i>Hakilin-ntan</i>	personne qui a la mémoire courte
<i>Sukaro bi min na</i>	<i>Sukaro-man</i>	quelque chose de sucré
<i>I bina n sɔrɔcɛ ye yan</i>	<i>I bina n cɛ-mansɔrɔ I jɛyan</i>	tu me trouveras ici prête à t'attendre (comme un homme)

Les préfixés

De façon générale, les dérivatifs préfixés, au nombre de trois en mandingue, ne sont presque jamais utilisés par les locuteurs du dioula. Les créations lexicales qui font appel à ces dérivatifs chez les bambaraphones sont rendues par des périphrases en dioula.³

Dioula véhiculaire	Bambara	Français
<i>Gwɛrɛka bɔkɔfɛ</i>	<i>I ma-bɔ</i>	recule (-toi)
<i>Gwɛrɛ ka na jɛfɛ</i>	<i>I ma-don</i>	avance (-toi)
<i>Bɔ ni dumuniye</i>	<i>Dumuni-la-bɔ</i>	Sors le repas !
<i>A ka den min ka di a yekatemɛ a den beekan</i>	<i>A den man-di de do</i>	c'est son enfant préféré

La différence entre les deux catégories de locuteurs est perceptible à ce niveau car si les uns usent des formes avec les dérivatifs (bambara), les autres ne le font pas du tout (dioula véhiculaire). Ces formes dérivées que nous n'avons relevées qu'à Bobo-Dioulasso et chez de rares locuteurs entendus à Ouagadougou ne semblent pas appartenir au dioula commun ou dioula urbain.

Selon les locuteurs du dioula véhiculaire ou dioula urbain, qui ne se considèrent pas comme les locuteurs authentiques, leur dioula serait « moins pur », « un dioula tabou » ou encore « un dioula commercial ». ⁴ Comme ils ne se sentent pas obligés de faire attention aux valeurs socioculturelles que la langue véhicule, ils interprètent l'usage des dérivatifs comme un signe de richesse des locuteurs « qui sont nés dedans », « c'est leur langue », par opposition à ceux dont le dioula « n'est pas la langue », « ceux qui ont appris ».

Syntaxe

Il y a, en mandingue, un type de construction de phrase qui se passent des constituants verbaux proprement par l'usage des substantifs devenus verbes, ce que Diallo M.L. (2009)⁵⁶ considère comme une conversion. Il s'agit des constructions syntaxiques ayant le paradigme des phrases à prédication verbale :

N/préd./N/N

Kulubali / ye / an / kalan « Kulubali nous a instruits. » *Kulubali / ye / an / fɛrɛbɔ* « Kulubali nous a habillés. »

Si cette forme est en usage en bambara, elle a tendance à disparaître en dioula, laissant croire aux usagers qu'il s'agit de l'influence du bambara.

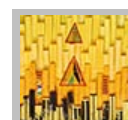
Dioula véhiculaire	Bambara	Français
<i>A yi fini di a ma</i>	<i>a y'a fɛrɛbɔ</i>	habiller quelqu'un (offrir)
<i>An ka tulonke</i>	<i>An k'atulon</i>	Amusons-nous!
<i>An ka minnike</i>	<i>A ka an min</i>	Buvons !
<i>A yi dilekiani samara di n ma</i>	<i>A yi n duloki,</i>	Il m'a offert des chemises

³ Sanogo M.L. 1992, *Approche définitoire du jula véhiculaire*. DEA, Université de Ouagadougou, 97 pages.

⁴ Dumestre G. et Retord G.L.A., 1981, (rééd.) *Ko di? Cours de dioula*. Université d'Abidjan, ILA, 231 pages et Partmann G., 1975, « Quelques remarques sur le jula véhiculaire en Côte d'Ivoire » dans ANNALES DE L'UNIVERSITE D'ABIDJAN, I.L.A., série II, 241-260.

⁵ Diallo M.L., 2009, « Types de phrases de base nominales en bambara », dans : *ETUDES MALIENNES*, Coopérative culturelle Jamana, Bamako, n°72, 19-44.

⁶ Si le sens premier « cherche » est connu par les locuteurs du dioula, ceux-ci préfèrent utiliser le verbe *yaala*, *jini* devant un verbe tabou.



Lexique

Sur le plan lexical, le dioula véhiculaire est plus proche du bambara que des autres parlers mandingues. Ainsi, on peut noter la différence lexicale sur deux plans :

Sur le plan sémasiologique, certaines appellations, bien que connues dans les différents parlers, ont des contenus sémantiques différents.

Bambara	Français	Dioula véhiculaire	Français
<i>Sunguru</i>	Maîtresse	<i>Sunguru</i>	jeunes filles
<i>Dioula</i>	Commerçant	<i>Dioula</i>	ethnie (dioula)
<i>nini</i>	Chercher	<i>nini</i> ¹²	faire l'amour

Sur le plan onomasiologique, certaines appellations divergent d'un parler à un autre.

Dioula véhiculaire	Bambara	Français
<i>Malo</i>	<i>kini</i>	Riz cuit
<i>Sanga</i>	<i>janaja</i>	Funérailles
<i>wusugu</i>	<i>Saalen</i>	Taxe de marché
<i>lgɔfiye / lgɔ</i>	<i>Sugufiye / sugu</i>	Marché

L'analyse du dioula de Bobo-Dioulasso nous a permis de constater sa nature composite et sa dynamique très importante dans le contexte urbain. Son contexte de glottogenèse correspond à celle d'une ville (Bobo-Dioulasso). Ainsi, l'émergence d'une ville dans cette partie du pays à la période coloniale a eu pour conséquence le regain d'intérêt pour une langue héritière d'une longue période d'expansion, une langue soutenue par une puissance militaire et économique dioula, puis bambara et même par la France coloniale. Nous pouvons dire à propos du dioula qu'il était, à l'époque, une langue au sens de Max Weinreich⁷ car ce dialecte avait une armée et une marine, si par ces termes il faut entendre une puissance économique, notamment soutenue par un réseau de commerce.

Loin d'être une langue au sens classique, le dioula véhiculaire de Bobo-Dioulasso est un ensemble de pratiques langagières aux limites insaisissables et aux contours assez flous. Il s'agit sans doute d'un ensemble dont l'unité est consolidée par le noyau de locuteurs natifs et de locuteurs légitimes en milieu urbain qui constitue un creuset accueillant ceux qui « améliorent leurs pratiques au quotidien ».

En conclusion, notons que le cycle d'évolution de la langue mandé qui a abouti à la glottogenèse du dioula véhiculaire a connu des phases successives

liées à l'histoire des peuples de la Boucle du Niger. Des premières formes véhiculaires au stade actuelle de son évolution, le mandingue a connu des mutations diverses sous des fonctions différentes. De même, il a cohabité avec d'autres langues auxquelles il s'est imposé grâce au prestige économique, militaire et diplomatique de ses usagers. Cette victoire n'est pas sans conséquence sur son vocabulaire et ses formes, car la dynamique d'une langue ne se fait pas sans les transformations et ou du moins les adaptations et restructurations internes de la langue elle-même.

Mais dans le cas spécifique du dioula véhiculaire, nous avons vu que son histoire reste marquée par des restructurations internes dans lesquelles les formes véhiculaires, commerciales et ou grégaires ont joué un rôle déterminant. Par conséquent, cet ensemble de pratiques assez instable et comportant des éléments divers dans un contexte multilingue et urbain fait de ce parler véhiculaire un siphon qui aspire les particularités locales et les langues diverses en s'imposant comme la référence linguistique des nouvelles générations urbaines. A l'instar du bambara de Bamako, le dioula de Bobo-Dioulasso qui s'impose comme une nouvelle identité urbaine linguistique ne mettra-il pas les identités ethniques en péril ?

⁷ L'expression de Max Weinreich à propos de la différence entre langue et dialecte serait : « Une langue est un dialecte avec une armée et une marine. », dans : Yivo Bletter, vol. n° 23. 3, mai-juin 1944, 420-421.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BATIANA A. et CAITUCOLI C., 1993, "Aspects de la compétition des langues en milieu urbain" dans CAHIERS DE LINGUISTIQUE SOCIALE, (le français au Burkina Faso), URA 1164/ Université de Rouen, pp. 20-34
- BRETON R., 1992, *Les ethnies*, P.U.F., Coll. "Que sais-je?", Paris, 127 pages
- CALVET L.-J., 1981, *Les langues véhiculaires*, P.U.F., Paris, Coll. "Que-sais-je ?", 127 pages
- CALVET L.-J., 1987, *La guerre des langues*, Payot, Paris, 294 pages
- COULIBALY B., 1984, *Le jula véhiculaire de Haute Volta, Phonologie, morphologie, syntaxe et règles de transcription orthographique*, thèse pour le doctorat d'État ès lettres et sciences humaines, Université Paris V, 1008 pages
- COULIBALY K., 1983, *Étude phonétique et phonologique du système vocalique, consonantique et tonologique du Bambara de Haute Volta, application aux emprunts français*, Thèse pour le doctorat de 3^{ème} cycle, Université de Nancy II, 197 pages.
- COULON Alain, *L'école de Chicago*, PUF (collection Que sais-je ?), Paris, 1992
- CUOQ J. M., 1975, *Recueil des sources arabes concernant l'Afrique occidentale du VIII^e au XVI^e siècle*, Paris, Éditions du CNRS.
- DELAFOSSÉ M., 1929 et 1955, *La langue mandingue et ses dialectes (malinké, bambara, dioula)*; Librairie Orientaliste Paul Geuthner, Paris, 489 pages
- DÉRIVE M.J., 1976, "Dioula véhiculaire, dioula de Kong et dioula d'Odienné", dans ANNALES DE L'UNIVERSITÉ D'ABIDJAN, Tome IX- Fascicule 1, Série H, pp. 55-83
- DUMESTRE G. et RETORD G.L.A., 1981, (rééd.) *Ko di? Cours de dioula*, Université d'Abidjan, ILA, 231 pages
- ENDERSEN, H., 1988, « centre and periphery : adoption, diffusion and spread », in J. Fisiak (éd.), *Historical Dialectology. Regional and Social*. Berlin-New York- Amsterdam, Mouton de Gruyter, pp. 39-83.
- FROMENT A., 1988, *Le peuplement humain de la boucle du Niger*, éditions de L'ORSTOM. Gabon, N°03, Janvier 2008, pp.55-84
- GADET F., 1991, "Introduction à ces langues que l'on dit simples" dans LINX n°25, pp. 05-10.
- GALLAIS J. 1962 : "Signification du groupe ethnique au Mali" dans L'HOMME, n° 2, Tome II, Mouton & Co, Paris, La Haye, pp. 106-129.
- GOBARD H., 1976, *L'aliénation linguistique analyse tétraglossique*; flammariion, Paris, 298 pages.
- HEIN B. et Nurse D. (dir.), 2004, *Les langues africaines*, Karthala, AUF, Paris, 468 pages
- HOUIS M. 1961 : "Mouvements historiques et communautés linguistiques dans l'Ouest Africain", dans L'HOMME, revue française d'Anthropologie, n°3, Mouton et Co, pp. 72-91.
- HOUIS M., 1971, *Anthropologie linguistique de l'Afrique Noire*, P.U.F., 232 pages.
- KEITA A., 1990, *Esquisse d'une analyse ethno-sémantologique du jula vernacularisé de Bobo-Dioulasso*, thèse pour le Doctorat nouveau régime, Université de Nice, 265 pages
- KI-ZERBO J. 1978 : *Histoire de l'Afrique Noire*, Hatier, Paris, 731 pages.
- NAPON Abou, 2003, La problématique de l'introduction des langues nationales dans l'enseignement primaire au Burkina Faso, mise en ligne le lundi 21 juillet 2003, <http://www.sudlangues.sn/article59.html>
- OUOBA B.B., 1983, "Langues véhiculaires, langues nationales et planification linguistique" dans LANGUES, ESPACE ET SOCIÉTÉ, actes du colloque de sociolinguistique, Université de Ouagadougou, pp. 67-76
- PARTMANN G., 1975, "Quelques remarques sur le jula véhiculaire en Côte d'Ivoire" dans ANNALES DE L'UNIVERSITÉ D'ABIDJAN, I.L.A., série II, pp. 241-260
- PERSON Y., 1968, 1970, 1975, Samori, Une révolution dyula, Mémoires de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire. N° 80, Dakar. Trois Tomes. 2377 pages
- SANOOGO M. L., 1999 « L'ethnisme jula : origines et évolution d'un groupe ethnolinguistique dans la boucle du Niger, » *Burkina Faso, Cent ans d'histoire, 1895-1995*, L'harmattan, Paris, Tome I, sous la direction de Y. G. Madiéga et O. Nao., 1999, pp., 370-379.
- SANOOGO M.L., 2000, « A propos de jula à Bobo-Dioulasso », dans *Cahiers du CERLESHS*, 2^{ème}



numéro spécial, ed. Nikiéma Norbert, Université de Ouagadougou, pp.73-83.

SANOGO M. L., 2006 «La recherche terminologique dans un dialecte couvert : le cas du dioula », dans *Mots, termes et contextes*, sous la direction de Blampin D., Thoiron P. et Campenhout M.V., Edition des archives contemporaines, Paris, pp.631-639

SURET-CANALE J. 1979, *Afrique Noire, Géographie civilisation histoire*, Éditions sociales, 3^{ème} édition revue et mise à jour, 395 pages

TAUXIER L. 1942 : *Histoire des Bambara*, Paris, Librairie Orientaliste Paul Geuthner.

TERA K., 1986, "Le dioula de Côte d'Ivoire, expansion et développement" dans *CAHIERS IVOIRIENS DE RECHERCHES LINGUISTIQUES* n° 20, Abidjan, pp. 5-31.

VAN DEN AVENNE C. (2005) « Bambara et français-tirailleur. Une analyse de la politique linguistique de l'armée coloniale française : la Grande Guerre et après », in *Documents pour l'histoire du français langue étrangère ou seconde*, SIHFLES, décembre 2005, n°35, pp.123-150

WELMERS W. E. 1958 : "The Mande Languages" Georgetown, University monograph, series in Languages and Linguistics, 11 Washington, Georgetown University, Press, pp. 9-24.

WERTHMANN K. et M. L. SANOGO (sous la direction de), 2013, *La ville de Bobo-Dioulasso au Burkina Faso : urbanité et appartenance en Afrique de l'Ouest*, Editions Karthala, Paris

ZAHAN D. 1960 : *Société d'Initiation Bambara le n'domo et le korè*, Mouton et Co., Paris 438 pages.



Détection du changement dans la Commune Rurale de Sanankoroba au Mali

Ibréhima Bengaly^{1*} et Yacouba Diallo²

¹Université Des Sciences Juridiques et Politiques de Bamako, Institut de Pédagogie Universitaire

²Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée

*Email de l'Auteur Correspondant : ibrehima2811@gmail.com

RESUME : La détection de changement numérique est le processus qui aide à déterminer les changements associés aux propriétés d'utilisation et de couverture du sol en référence à des données de télédétection multi-temporelles géo-enregistrées. Sanankoroba, où l'utilisation des terres a été fortement affectée par les récentes politiques gouvernementales visant à trouver un équilibre entre la nécessité d'encourager le développement rural et la stabilité écologique. Ces politiques incluent la promotion des moyens de subsistance du bétail, la modification des pratiques de pâturage, la suppression des quotas obligatoires de cultures céréalières et l'interdiction de l'exploitation forestière commerciale. La commune de Sanankoroba est restée importants pour la gestion durable des forêts. La commune recèle un important biodiversité, principalement limité à quelques sites parmi lesquels la forêt de Faya et Tienfala jouent un rôle majeur. Pour toutes ces raisons, néanmoins, des processus disproportionnés de changement d'utilisation de couverture du sol sont en cours. Ce document tente d'évaluer l'évolution de l'utilisation des sols et de la couverture végétale dans cette partie méridionale de Sanankoroba sur une période de dix ans. L'étude a utilisé les images Landsat de 1972 et 2018. Les images ont été classifiées à l'aide de la méthode de classification du maximum de vraisemblance dans ENVI 5.1 et cartographiées à l'aide d'Arc GIS. Les résultats ont indiqué que de graves changements dans la couverture terrestre avaient eu lieu dans les terres cultivées (58,69%), les terres forestières, claire et Galerie (1,73), (-64,22) ou Arborée et arbustives (-83,60%) ; Affleurement Rocheux (28,78), Plan d'eau (-28,66) et les zones d'agglomération (20,83%) avaient fait l'objet de connaissances couverture terrestre pendant la période d'étude. Cet article souligne l'importance de la détection numérique des changements pour appréhender la situation environnementale dans la commune rurale de Sanankoroba au Mali.

Mots Clés : Système d'Information Géographique, Télédétection, Détection de changement, Couverture du sol.

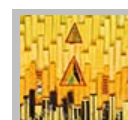
I. INTRODUCTION

La détection de changement numérique est le processus qui aide à déterminer les changements associés aux propriétés d'utilisation et de couverture du sol en référence à des données de télédétection multi-temporelles géo-enregistrées. Dans toute Afrique, l'expansion et l'intensification des activités agricoles sont les principales raisons du changement de couverture du sol (LULC) d'utilisation des terres, en particulier dans les régions Soudaniennes (Geist et Lambin, 2002). Les causes sous-jacentes des changements LULC conduisant à la déforestation et à la dégradation des terres incluent le développement économique rapide, la croissance démographique et la pauvreté (Giri et al. 2003, Bolland et al, 2007). Au Mali, des politiques institutionnelles et de développements inappropriés ont également été les principaux facteurs contributifs (Xu et al. 1999). Plus précisément (Lambin et al. 2003) ont supposé que c'étaient les réponses des gens aux opportunités économiques, influencées par des facteurs institutionnels qui conduisent au changement d'utilisation de couverture des sols. Au Sanankoroba commune du Mali, où l'utilisation de la couverture des terres a été fortement affectée par les récentes politiques gouvernementales visant à trouver un équilibre entre la nécessité d'encourager le développement rural et la stabilité écologique (Xu et Wilkes 2004; Xu et

Ribot 2004). Ces politiques incluent la promotion des moyens de subsistance du bétail, la modification des pratiques de pâturage, la suppression des quotas obligatoires de cultures céréalières et l'interdiction de l'exploitation forestière commerciale.

La collaboration de données de télédétection et d'observations sur le terrain peut permettre de classer la couverture du sol et de détecter les changements, plus rapidement et à moindre coût qu'une seule. Cet article implique de classer la couverture terrestre de la zone en deux scènes Landsat MSS de 1972 et OLI-TIRS 2018 et d'évaluer les changements survenus entre eux. L'utilisation réussie de données de télédétection pour la détection de l'utilisation des terres et de la couverture végétale nécessite une sélection minutieuse de l'ensemble de données et des méthodes appropriées.

La technique de classification supervisée est préférable, car les données de la zone d'étude sont disponibles et que l'auteur possède une connaissance préalable de la zone d'étude. Les modifications LULC sont étudiées à l'aide des systèmes de télédétection et d'information géographique (SIG) (Reis, 2008). À cette fin, la technique de classification supervisée est appliquée aux images Landsat acquises en 1972 et 2018. Image La classification de trois bandes réfléchissantes de deux



de vraisemblance maximale dans ENVI 5.1. La technique de classification supervisée est préférable car les données de la zone d'étude sont disponibles et que l'auteur dispose d'une connaissance de la zone d'étude. La règle de décision du maximum de vraisemblance est toujours l'un des algorithmes de classification supervisés les plus largement utilisés (Wu et Shao, 2002; McIver et Friedl, 2002). On considère que les résultats obtenus sont très précis (Mengistu, 2007; Reis, 2008).

Trois critères standard ont été utilisés pour évaluer l'exactitude des classifications: (1) La précision utilisateur a été définie comme la proportion de pixels correctement classés dans une classe par rapport au nombre total de pixels classés dans cette classe. Il indique la probabilité qu'un pixel classé représente réellement cette catégorie dans la réalité.

(2) La précision globale a été définie comme le nombre total de pixels correctement classés divisé par le nombre total de pixels de référence (nombre total de points d'échantillon) (Rogan et al. 2002).

(3) Le coefficient Kappa a été défini comme une mesure statistique de la précision comprise entre 0 et 1, il mesure la qualité comparée de la classification par rapport à l'attribution aléatoire de valeurs de classe à chaque pixel. Par exemple, un Kappa de 0,80 signifie que la précision de la classification est supérieure de 80% à celle du hasard (Miller et Yool, 2002).

III. RESULTATS

Le but est d'identifier les changements, de voir leur ampleur surfacique et de considérer au profit de quelles classes ils s'opèrent. La réponse à ces interrogations a conduit à la réalisation des cartes de changements. Celles-ci se présentent sous trois angles. Il s'agit tout d'abord des « modifications ». Ensuite, la « conversion » est le passage d'une catégorie à une autre, comme exemple la végétation qui devient du sol nu ou vice-versa. Et pour terminer, la « stabilité » ou zone « sans changement », pour éviter une confusion avec le premier cas, se rapporte à l'ensemble des classes de même catégorie entre deux dates, c'est-à-dire des classes n'ayant été affectées ni par les modifications ni par les conversions. L'analyse des courbes d'évolution et des cartes permettra alors de conclure à une artificialisation ou non du milieu ; ceci dans le but d'appréhender leurs impacts dans la commune et de pouvoir travailler sur les risques éventuels liés à ces changements. Dans la commune rurale, les différentes unités d'occupation des terres ont connu des changements entre 2012 et 2018. La détection de ces changements vise l'identification des différences d'état d'une zone entre différentes dates et cherche à quantifier et qualifier le changement détecté. La détection des changements dans la commune rurale de Sanankoroba est faite sur la base des données

statistiques issues des traitements des images Landsat MSS de 1972, et OLI 2018. L'évolution spatiale des unités d'occupation des terres pendant cette période est quantifiée à partir du taux d'évolution moyenne annuelle puis est qualifiée de « progression » ou de « régression ».

3.1. Etat de l'occupation des terres en 1972

Le résultat des traitements de l'image Landsat MSS de 1972 a permis de réaliser la carte d'occupation de terre de la commune rurale Sanankoroba dans la région de Koulikoro (Mali).

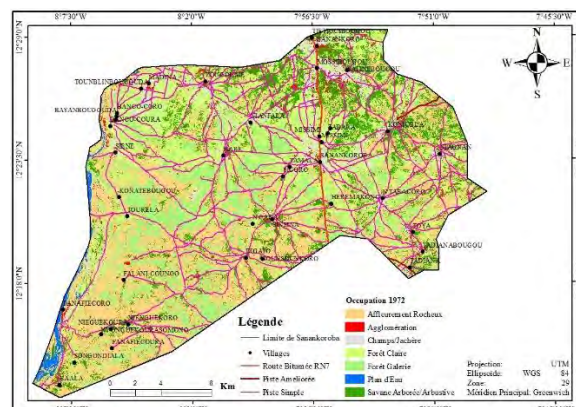


Figure 2: Occupation des terres en 1972

La figure 2 présente l'occupation de terres de la commune Sanankoroba en 1972. Une inégale répartition des unités d'occupation des terres a été remarquée. L'ensemble de la commune est caractérisé par une forte densité de savane arborée.

3.2. Etat de l'occupation des terres en 2018

Les traitements de l'image Landsat OLI a permis de réaliser la carte d'occupation des terres de 2018 de la zone d'étude.

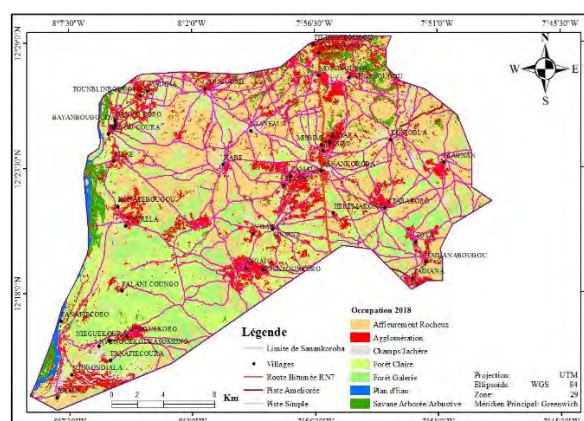


Figure 3: Occupation des terres en 2018

Le constat général de cette carte montre une dégradation totale de la Savane Arborée/Arbustive, Forêt claire, Forêt Galerie, et Augmentation de l'Agglomération qui contribue à la dégradation des terres. La figure précédente présente les proportions des unités d'occupation des terres.



3.3. Changement entre 1972 et 2018

La figure 04 ci-dessous présente la nature de changement entre 1972 et 2018.

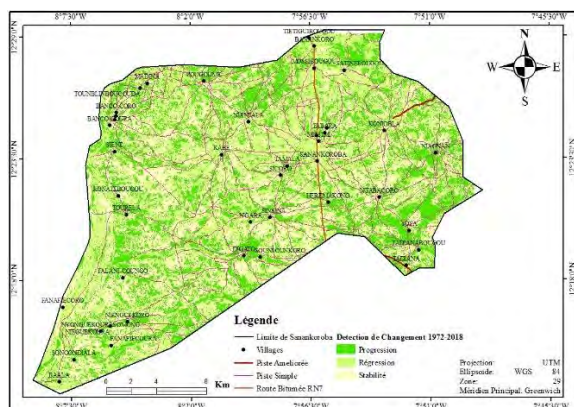


Figure 4 : Changement entre 1972 et 2018

La figure 4 révèle les unités d'occupation des terres en progression, en régression et en stabilité entre 1972 et 2018. Elle a été obtenue après la superposition des images de 1972 et 2018.

Afin d'appréhender quantitativement cette dynamique, nous allons effectuer quelques traitements statistiques. Les graphiques et les images résultants permettent d'en faire une lecture plus aisée.

3.4. Evolution des superficies des formations végétales entre 1972 et 2018

Tableau 01 : Evolution des superficies des formations végétales entre 1972 et 2018

Unité	F V 1972		F V 2018		EMA	TA A	Natu re
	(ha)	%	(ha)	(%)			
A. R	29503	37	37994	47	849	29	Prog
AGG	1544	2	10378	13	883	21	Prog
C/J	3516	4	5580	7	206	59	Prog
F.C	16426	21	16710	21	28	2	Prog
F. G	12809	16	4583	6	-823	-64	Rég
P. E	4082	5	2871	4	-121	-30	Rég
SA/A	12245	15	2008	2	-1024	-84	Rég
Total	80125	100	80125	100			

Légende :

F.V: Formation Végétales 1972, 2018

E.M.A : Evolution Moyenne Annuelle

T.A.A : Taux d'Accroissement Annuel

A.R : Affleurement Rocheux, AGG : Agglomération, C/J : Champs et Jachère, F.C : Forêt Claire, F.G : Forêt Galerie, P.E : Plan Eau, SA/A : Savane Arborée/ Arbustive

Le tableau ci-dessus présente l'évolution de la superficie des unités d'occupation des terres entre 1972 et 2018.

L'analyse du tableau 01 ci-dessus montre les évolutions des unités d'occupation des terres entre 1972 et 2018. Les unités d'occupation des terres dans la commune ont connu des modifications de par leurs superficies entre 1972 et 2018. Les statistiques d'évolution des unités entre 1972 et 2018 renseignent que les Affleurements Rocheux ont augmenté de 29502,9 ha à 37994,4 ha soit 84%, les Agglomérations ont passé de 1544,04ha à 10378,35 ha soit 15%. Les Champs et Jachère ont passé de 3516,39ha à 5580,18ha les Forêt Claires, de 16425,81 à 16710,21 soit 41% ; les Forêt Galerie de 12808,95ha à 4583,07 qui ont connu une forte régression soit 22% ; les Plan d'Eau ont passé de 4082,01ha à 2871,09ha avec une faible régression, les Savane Arborée/Arbustive sont allés respectivement en régression soit 12245,19ha à 2007,99ha avec un pourcentage de de 18%.

Accroissement annuel entre 1972 et 2018

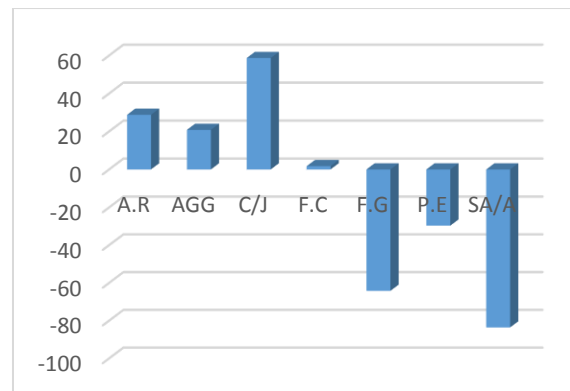
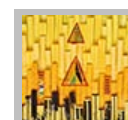


Figure 05 : Accroissement annuel entre 1972 et 2018

La figure 05 ci-dessus résume et synthétise les résultats les opérations de 1972 à 2018. Il ressort que la forêt Galerie soit un taux de -64,22, les Plan d'Eau soit -29,66 et les Savanes Arborée/Arbustive -83,6 ont connu un recul sans précédent dans la commune de Sanankoroba pendant la période 1972-2018. En revanche, le changement le plus spectaculaire s'est opéré dans les Savanes Arborée/Arbustive. Il relève également que ces superficies perdues par les forêts se sont laissées au profit des cultures et autres activités de prédation de l'homme.

3.5. Tendances des unités d'occupation des terres de 1972 à 2018



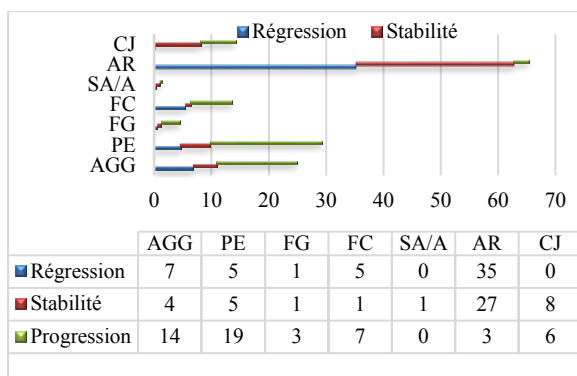


Figure 06 : Tendances des unités d'occupation des terres de 1972 à 2018

Cette figure ci-dessus nous démontre que l'intensité de perte (régression), de stabilité et de gain (progression) de 1972 à 2018. L'intensité de stabilité a été plus forte que celle des pertes au niveau des affleurements rocheux la stabilité est à 27% %, la perte 35% et le gain est 3%. Au niveau d'agglomération la perte est allée jusqu'à 7%, la stabilité 4% et le gain est 14%. Le plan d'eau n'a connu que 5% de perte et 5% de stabilité et 19% de gain. La forêt galerie a eu 1% de perte, 1% de stabilité, et 3% de Gain. La forêt claire n'a eu que 5% régression, 1% stabilité et le gain n'est que 7% la savane arborée/ arbustive a eu 0% de perte, 1% de stabilité et 0% de gain. Le champ et jachère n'a perdu que 0% la stabilité à 8% et 6% de gain. La figure ci-dessous présente l'intensité de changement des unités d'occupation des terres de 1972 à 2018

IV.DISCUSSION

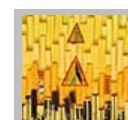
4.1 Précision

Les précisions de classification se sont avérées meilleures que prévu. Les précisions globales raisonnables de tous les processus de classification peuvent être expliquées par le fait que le nombre total de pixels correctement classés était élevé. Les types Land Use and Land Cover (LULC) ont été correctement choisis, la précision de la classification pourrait en être un autre si nous essayions de classer séparément les classes (par exemple, terres forestières et arbustives, ou terres cultivées pluviales et irriguées). La précision comparativement plus faible de la surface non utilisée et de la jachère pourrait s'expliquer par le fait que plusieurs pixels de la jachère ont été classés à tort comme étant une zone inutilisée ou inversement. Cela indique la probabilité qu'un pixel en jachère classé sur la carte représente cette catégorie dans la réalité. En d'autres termes, les signatures spectrales de la zone non utilisée et de la jachère étaient très similaires. Pour classer les terres cultivées, il y avait une certaine confusion avec la jachère et pour classer la jachère; il y avait une confusion avec la zone inutilisée. Cela s'est avéré être conforme à la fourchette rapportée ailleurs (Hazeu et De Wit, 2004). Mais la plupart des classes avaient des scores de précision assez élevés. Cela indique que le processus de classification a été effectué comme prévu.

4.2 Modifications de l'utilisation des terres de la couverture végétale (1972-2018)

L'analyse par satellite révèle certaines tendances intéressantes en ce qui concerne l'évolution de la couverture terrestre entre 1972 et 2018. D'après nos résultats, il ressort clairement du graphique 4 que la zone d'étude avait subi une influence liée à l'utilisation intensive et s'était dégradée à 58,69% et - 83,60% du changement sous terres cultivées et savane arbustive et arborée, respectivement. Il convient de mentionner que la majeure partie de la déforestation a eu lieu au Nord-Est et au Sud-Est de la zone d'étude en 2018. L'augmentation des superficies cultivées et la diminution des forêts ou des arbustes ont été constatées sous la forme d'une déforestation au profit des terres cultivées ailleurs (Mengistu et Salami ; 2007, Reis, 2008). Dans cette optique, les données Land Use and Land Cover (LULC) des deux années indiquent un changement. Le retrait de zones couvertes de terres forestières ou arbustives, d'eau et de zones inutilisées et l'extension de la surface de construction, des terres cultivées et de la jachère sont courants dans la région. Cela indique l'empiétement des terres cultivées, des jachères et des bâtiments vers les zones forestières, les eaux et les zones inutilisées; cela a été établi par l'enquête sur le terrain.

Il s'agit d'un défrichement de la forêt causé par des perturbations anthropiques (Roy, Chowdhury et Schneider, 2004). En d'autres termes, les personnes supplémentaires ont exercé une pression considérable sur les terres pour obtenir de nouveaux logements et augmenter la production alimentaire. Dans de nombreux cas, de nouvelles zones de construction ont été construites sur des terres agricoles de choix, entraînant une perte de production alimentaire à partir des meilleures terres. Pour remplacer la production vivrière perdue sur les terres agricoles de premier choix converties et accroître la production de la population accrue, des terres marginales ont été cultivées, souvent sur des pentes abruptes. Un meilleur scénario peut être envisagé si les initiatives sociales locales consacrées à l'utilisation durable des ressources naturelles sont appliquées (Velazquez et al. 2001). Les changements LULC reflètent la dynamique observée dans la condition socio-économique de la zone d'étude. Comme le soulignent les changements, cela pourrait être dû aux politiques gouvernementales visant à équilibrer la nécessité d'encourager le développement rural, la suppression des quotas obligatoires de cultures céréalières, la promotion de l'élevage avec une stabilité écologique. Cela se révèle être similaire à la situation dans un district voisin, Bamako (Xu et al. 1999). Le moteur de l'expansion péri-urbaine de Sanankoroba commune Maliennne pourrait être le phénomène des zones de développement créées pour accueillir des activités innovantes et des investissements étrangers. Les mêmes raisons sont



valables pour l'expansion des terres cultivées, où le changement était extrêmement important (58,69%). Cela indique que, malgré la croissance économique, de nombreuses personnes dépendent encore beaucoup de la gestion des sols et de l'agriculture traditionnelle. Cela met une pression sur les autres types de couverture terrestre, ce qui entraîne à son tour l'ouverture de davantage de forêts naturelles, d'eau et de zones inutilisées pour la culture. L'expansion des terres arables est donc en partie responsable de la disparition de la forêt de la région au cours de la période à l'étude, même si l'image de 2018 a été prise en Mars en période sec. Les relations entre l'expansion des terres cultivées et des zones constructibles et la diminution de la forêt se sont révélées conformes à l'aire de répartition rapportée ailleurs (Fearnside, 2001, Lambin et al. 2003, Velazquez et al. 2003).

V. CONCLUSIONS

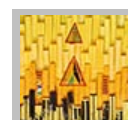
L'analyse de détection de changement Land Use and Land Cover (LULC) dérivée de l'imagerie Landsat a fourni un compte rendu précis de la situation de la zone d'étude pendant la période 1972-2018. Les activités d'utilisation des terres visaient davantage à accroître la production agricole. Les facteurs de changement d'utilisation des terres sont fortement influencés par les modifications des pratiques agricoles, elles-mêmes influencées par des facteurs institutionnels et économiques (politique publique, croissance des infrastructures). Cette analyse, confirmée par les résultats, a indiqué que la conversion et la modification des terres forestières ou arbustives s'intensifiaient, à mesure que la population humaine augmentait et que la promotion de l'élevage devenait plus courante. Les résultats ont montré que la couverture végétale avait subi de profonds changements dans les terres cultivées (58,69%), les terres forestières, claire et Galerie (1,73), (-64,22) ou Arborée et arbustives (-83,60%) ; Affleurement Rocheux (28,78), Plan d'eau (-28,66) et les zones d'agglomération (20,83%) avaient fait l'objet de connaissances et que les superficies inutilisées constituaient le type de Land Use and Land Cover (LULC) le plus étendu du pays. Période d'étude. Cet article souligne l'importance de la détection numérique des changements pour appréhender la situation environnementale dans cette partie méridionale de la commune de Sanankoroba(Mali). Des recherches supplémentaires seraient importantes pour nous aider à mieux comprendre les variations des taux de déforestation entre les comtés, ainsi que les mécanismes de conversion et de modification des types de couvertures du sol classées ci-dessus.

REMERCIEMENTS

L'auteur est reconnaissant à l'Institut de Pédagogie Universitaire (IPU) de Université Des Sciences Juridiques et Politiques de Bamako, (USJPB).

REFERENCES

- [1] Aboudi A. (2013) : *Cartographie de la végétation à partir de l'analyse des données multi-dates. Mémoire de Maîtrise, Université Mohamed V au Maroc*, 68 p.
- [2] Boex (2002): *The causes of deforestation in developing countries. Annals of the Association of American Geographers*, 184 p.
- [3] Bolland L. P., Ellis E.A., Gholz H.L., 2007 *Dynamique de l'utilisation des terres et histoire du paysage en La Montana, Campeche, Mexique, Paysage et urbanisme*, 82: 198-207
- [4] Daniel S. (2013) : *Dégradation et déforestation dans la réserve de la biosphère Luki (RDC). Mémoire de DEA, Université de Laval*, 118 p.
- [5] Diallo H., Bamba I., Ballo A. et Maïga M. (2011) : *Effets combinés du climat et des pressions anthropiques sur la dynamique évolutive de la végétation d'une zone protégée du Mali (Réserve de Fina, Boucle du baoulé). Sécheresse*, pp. 97-107.
- [6] Ducrot D. (2005) : *Méthodes d'analyse et d'interprétation d'images de télédétection multi sources : Extraction de caractéristiques du paysage, Habilitation à diriger des recherches INP Toulouse*. 240p.
- [7] FAO-UNEP, (2000). *Dégradation des terres en Asie du Sud: sa gravité, ses causes et ses effets sur les populations. Rapport sur les ressources en sols dans le monde*, n ° 78. FAO, Rome, 100 p.
- [8] Fearnside, M. P., (2001). *Sauver les forêts tropicales en tant que contre-mesure du réchauffement climatique: un problème qui divise le mouvement écologiste. Ecological Economics* 39, 167-184.
- [9] Geist, H., J., Lambin E.F., (2002), *Causes proches et forces motrices sous-jacentes de la déforestation tropicale. BioScience* 52 (2): 143-150
- [10] Giri, C., Defourny, P. et Shrestha, S. (2003), *Caractérisation de la couverture terrestre et cartographie de l'Asie du Sud-Est continentale à l'aide de données de capteurs satellitaires à résolutions multiples. Int. J. RemoteSensing*, 24 (21): 4181-4196.
- [11] Hazeu G.W. et De wit A.W., 2(004), *base de données Corine sur la couverture terrestre des Pays-Bas: suivi des modifications de la couverture terrestre entre 1986 et 2000. Dans les actes de la conférence EARSel*, p. 382-387.
- [12] Jensen, J.R., (2007). *Introduction au traitement d'images numériques: une perspective de télédétection*. 3e éd., Science Press et Pearson



Education Asia Ltd: Beijing ISBN: 978703018819-9 p. 467-494

[13] Lambin EF, Geist H, Lepers E (2003). *Dynamique d'utilisation des terres et changement de couverture dans les régions tropicales*. Rev. Annuelle Environ. Resour. 28: 205-241.

[14] Mas, J.F. ; Velazquez, A. ; Gallegos, J.R.D. ; Saucedo, R.M., Alcantare, C. ; Bocco, G. ; Castro, R. ; Fernandez, T. ; Vega, A.P., (2004), *Évaluation des modifications de l'utilisation / de la couverture des terres: une base de données spatiale multitemporelle nationale pour le Mexique*. Journal international d'observation de la Terre et de géoinformation, 5: 249-2

[15] McIver D. K. et M.A. Friedl, (2002), *Utilisation des probabilités antérieures dans la classification par arbre de décision des données de télédétection*. Télédétection de l'environnement 81: 253-261

[16] Mengistu D., A. et Salami AT, (2007), *Application de la télédétection et de la cartographie de la couverture terrestre et de l'utilisation du sol aux SIG et de la détection des changements dans une partie du sud-ouest du Nigeria*, Revue africaine de la science et de la technologie environnementales 1 (5): 099- 109

[17] Miller, J. D. et Pool, S.R. (2002). *Cartographie de la consommation du couvert forestier après un incendie en plusieurs types*. Télédétection de l'environnement, 82 (2-3): 481-496

[18] Reis S. 2008, *Analyse de l'évolution de l'utilisation des sols / de la couverture des sols à l'aide de la télédétection et des SIG à Rize, Nord-Est de la Turquie*, Sensors, 8: 6188-6202

[19] Rogan, J., Franklin, J. et Roberts, D.A. (2002) *Comparaison des méthodes de surveillance des changements de végétation multi temporels à l'aide de l'imagerie Thématique Mapper*. Remote Sens. Environ., 80 (1): 143-156.

[20] Roy Chowdhury, R., Scheneider, L.C., (2004). *Classification et analyse de la couverture terrestre et de l'utilisation des terres*. Dans Turner II, B.L., Geoghegan, J., Foster, D. (Eds), Science intégrée du changement de terrain et déforestation tropicale dans le sud du Yucatan: Final Frontiers.ClarendonPress / Oxford U.P., Oxford, pp. 105-141.

[21] Saha A. K., Arora M. K., Csaplovics E., Gupta R. P., (2005), *Classification de la couverture du sol à l'aide d'images IRS LISS III et de MNT sur un terrain accidenté: une étude de cas en Himalaya*, Geocarto International, 20 (2): 33-40

[22] Velazquez A, Bocco G, Torres A (2001) *Transformer les approches scientifiques en pratiques actions de conservation: le cas de la Comunidad Indígena de Nuevo San JuanParanagrocutiro, Mexique*. Environmental Management 27: 655- 665.

[23] Velazquez, A., Durana E., Ramirez I., Mas J., F., Bocco G., G. Ramirez, Palacio J., L., (2003), *Processus de changement d'affectation des sols dans les zones à forte biodiversité: le cas d'Oaxaca, Mexique*, Changements environnementaux mondiaux 13: 175-184

[24] Vogel, A.W., Wang Mingzhu et Huang Xiaoqing, (1995). République populaire de Chine: *sols de référence rouges de la province subtropicale du Yunnan*. SoilBrief China1. Institut des sciences du sol - AcademiaSinica, Nanjing, et Centre international d'information et de référence sur les sols, Wageningen. pp. 10-27.

[25] Willson A. (2005), *Utilisation de la télédétection pour mesurer la conversion des forêts et les changements d'affectation des terres dans le canton de Xiaozhongdian, province du Nord-Ouest du Yunnan, en Chine*, document de travail du Centre pour la biodiversité et les savoirs autochtones (CBIK), p. 5-15 [http //: www.cbik .ac.cn](http://www.cbik.ac.cn)

[26] Wilson, E.H. & Sader, S.A. (2002) *Détection du type de récolte forestière en utilisant plusieurs dates d'imagerie Landsat TM*. Télédétection de l'environnement, 80: 385-396.

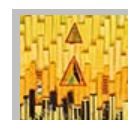
[27] Wu, W. et Shao, G. (2002); «*Combinaisons optimales de données, classificateurs et méthodes d'échantillonnage pour une caractérisation précise de la déforestation*», Journal canadien de télédétection, 28 (4): 601-609.

[28] Xu, J. et J. Ribot (2004). *Décentralisation et responsabilité en matière de gestion forestière: un cas du Yunnan, sud-ouest de la Chine*. Revue européenne de recherche sur le développement, vol. 16 (1): 153-173.

[29] Xu, J., & Wilkes, A. (2004) *Analyse d'impact sur la biodiversité dans le nord-ouest du Yunnan, sud-ouest de la Chine*. Biodiversity and Conservation, 13: 959-983.

[30] Xu, J., J. Fox, L. Xing, S. Podger, S., Leisz, A., Xihui, (1999). *Effets de la culture itinérante, des politiques de l'État et des institutions coutumières sur la couverture végétale d'un village Hani, Yunnan, Chine*. Recherche et développement en montagne 19 (2): 123-132.

[31] Diallo. Y, Guangdao. H, Xingping. W, (2009) *Applications de la télédétection dans la détection*



des changements d'utilisation et de couverture du sol dans les comtés de Puer et Simao, province du Yunnan Journal of American Science 2009;5(4):157-166]. (ISSN: 1545-1003

[32] Yuan, F .; Sawaya, K.E .; Loeffelholz, B.C .; Bauer, M.E. (2005), *Classification de la couverture terrestre et analyse du changement dans les zones métropolitaines de Twin Cities (Minnesota) par télédétection multi temporelle Landsat*. Télédétection de l'environnement 98, 317-328



Impacts de l'orpaillage traditionnel sur la vie socioéconomique des ménages dans le cercle de Kangaba au Mali : cas des villages de : Dabalé et Kokoyo

Aboubacar Konimba Sanogo, Maïmouna Toure, Abdoulaye Diamoutene et Aboubakar Bengaly
 Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou, Mali
 Adresse e-mail du correspondant: banetoure66@yahoo.fr

RESUME: L'orpaillage traditionnel est l'une des activités les plus génératrices de revenu au Mali. Ces activités ont des retombées bénéfiques, mais aussi des impacts négatifs sur les populations vivant dans ces zones. Cependant, peu d'études scientifiques ont été menées sur les impacts *négatifs et positifs* des activités d'extraction minière sur l'environnement et les conditions socioéconomiques des ménages. C'est dans ce cadre que cette étude a été menée dans les villages de Kokoyo et de Dabalé pour évaluer les impacts des activités de l'orpaillage sur les conditions économiques et sociales des communautés à partir de l'analyse descriptive en utilisant l'approche des tris croisés. Pour mener à bien cette étude, un échantillon de 30 ménages par village a été choisi dans un contexte non probabiliste (méthode des quotas) pour l'absence de liste exhaustive de la population. Cette analyse a révélé qu'à Kokoyo et Dabalé, plus de la moitié des ménages enquêtés pratique l'orpaillage artisanal soit respectivement 60% et 66.67%. La pratique de l'orpaillage dans les deux villages a permis de voir que cette pratique a une influence sur la croissance des activités telles que : l'agriculture avec 76.92% à Dabalé et 90.91% à Kokoyo, la chasse (100%) à Dabalé et le maraîchage (33.33%) à Kokoyo. Par ailleurs, l'étude a aussi montré que l'orpaillage impacte négativement sur la scolarisation des enfants. En effet, selon les ménages enquêtés, plus de 60% des enfants abandonnent l'école au profit de l'orpaillage artisanal et moins de la moitié des enfants scolarisés participent activement aux activités d'orpaillage artisanal. Ainsi, à Kokoyo et Dabalé, les enfants scolarisés participent aux activités d'orpaillage avec respectivement 54.55% et 65% et pour les enfants non scolarisés 42.11% ont participé aux activités à Kokoyo contre 80% à Dabalé.

Mots clés: orpaillage traditionnel, impact socio-économique, approche des tris croisés

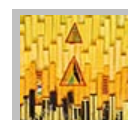
I. INTRODUCTION

Les institutions financières internationales dans la recherche d'alternatives pour faire face aux crises économiques africaines des années 1980, entreprennent des programmes de libéralisation et de privatisation de tous les secteurs-clés susceptibles de relancer les exportations des pays concernés. Le secteur des ressources naturelles figure parmi ceux-ci, notamment les mines. Ce secteur est présenté comme un moteur de croissance et de lutte contre la pauvreté par les institutions de Bretton Woods qui, entre 1980 et 1990, ont développé des stratégies de réformes (révision des codes miniers, sécurisation des investissements, conditions de rentabilité élevée, etc.) afin d'assurer sa promotion auprès des investisseurs étrangers. Jusqu'à la fin des années 1970, les ressources minières étaient sous le contrôle exclusif des Etats. Ces derniers se verront dans l'obligation de privatiser le secteur dès le début des années 1980. Cette privatisation constituait une condition pour l'accès à l'aide au développement. Elle passe par des réformes de codes miniers, qui adaptent les lois d'investissement des Etats abritant les mines aux logiques libérales de la mondialisation [1].

L'extraction artisanale de l'or a toujours été pratiquée par plusieurs personnes dans le monde. Elle représente 10 à 20 % de la production mondiale d'or [2]. Au Mali en 2001 l'orpaillage artisanal concernait 200 000 à 300 000 personnes, dont 60 à 70 % étaient des femmes et assurait une production moyenne de 3 tonnes par an, soit 10 à 20 % de la production nationale [3].

En effet, au Mali l'orpaillage a connu une croissance considérable à partir des années 1980-1990 en raison, d'une part, des effets conjugués de la sécheresse et des Programmes d'ajustement structurel et, d'autre part, de l'augmentation du prix de l'or sur le marché international [4]. Malgré que la plupart des autres matières premières connaissent une forte instabilité depuis la crise de 2007, le cours de l'or se maintenait à un niveau élevé et était proche de 2 000 dollars l'once en 2011 et 1 500 à 1 800 dollars l'once en 2012 [5].

Le Mali fait partie des pays richement dotés en ressources naturelles : en 2010, 8 % du PIB provenaient du secteur et 76,5 % des recettes d'exportations étaient dues à l'or [6].



Dans de nombreux pays en développement, tout comme au Mali, la recherche de la sécurité alimentaire est une réelle priorité pour les autorités [7]. La protection de l'environnement et le développement durable sont aussi au cœur de la problématique de développement au Mali. C'est la raison pour laquelle la constitution du 25 février 1992 stipule en son article 15 que « Toute personne a droit à un environnement sain. La protection, la défense de l'environnement et la promotion de la qualité de vie est un devoir pour tous et pour l'Etat ».

L'orpaillage étant strictement lié à la production agricole, dans la mesure où les revenus de cette activité permettent d'amortir les pertes d'une mauvaise récolte et d'assurer le paiement des crédits octroyés en fin d'hivernage [8]. Les zones d'orpaillage traditionnelles du Mali, situées dans les régions de Kayes, Koulikoro et Sikasso, ont donc connu un afflux de personnes qui voulaient désormais entreprendre une nouvelle activité réputée rapporter des gains considérables en peu de temps) [9]. C'est dans ce sens qu'au Mali ces régions (Kayes, Koulikoro et Sikasso) qui sont des zones de production par excellence ont été choisies par le projet. Mais cette étude n'a concerné que les villages de Dabalé et Kokoyo (cercle de Kangaba, région de Koulikoro). L'agriculture et le petit élevage sont les principales activités de ces populations et constituent leurs principales sources de revenus.

Les activités d'orpaillage sont majoritairement exercées par les jeunes et les femmes. Ces jeunes qui représentent les bras valides et la main d'œuvre familiale sont attirés par l'activité d'orpaillage artisanal. En effet, cette situation a provoqué une baisse considérable des activités agricoles non seulement dans les zones de production aurifère mais aussi les environnants et même les plus éloignés.

Le développement de l'orpaillage artisanal, principalement informel suscite diverses inquiétudes : (i) Sur le plan environnemental, l'usage non contrôlé de plusieurs substances chimiques comme le mercure et le cyanure entraîne la pollution des eaux de surface et souterraines [10], la dégradation des forêts, des sols puis la pollution des eaux et de l'air. (ii) sur le plan social, divers constats font état d'un accroissement des empoisonnements liés à ces mêmes substances [11], l'absentéisme scolaire, l'accentuation de la prostitution, le développement de divers trafics, l'accroissement de la consommation de drogues et l'expansion du banditisme [12] et [13]. (iii) Sur le plan socioéconomique, l'orpaillage artisanal se pratique en complément ou en substitution de l'agriculture, ce qui peut mettre en péril l'amélioration de la productivité de l'agriculture, qui reste pourtant le principal secteur d'activité pour 80

% des ménages et fournit des produits déterminants pour la sécurité alimentaire des ruraux [14].

L'OMS dans son rapport stipule que l'extraction minière et à petite échelle implique une interaction complexe de facteurs sociaux, économiques, technologiques, environnementaux et sanitaires pouvant considérablement varier en fonction du contexte local et national . [15].

Dans les pays en développement, les moyens de subsistance de millions d'individus dépendent de l'extraction minière traditionnelle et plus particulièrement le Mali. En effet, au Mali l'orpaillage est un sujet à controverse qui ne laisse personne indifférent, si pour les uns il est source de nuisance, pour les autres, il représente un moyen de lutte contre la pauvreté. Dans le cercle de Kangaba l'orpaillage est une activité pratiquée par de nombreuses personnes vivantes dans une grande précarité économique, c'est une activité très peu ou pas encadrée par l'État.

Cependant l'une des questions qui soulève le plus d'inquiétude à propos de l'orpaillage est son impact sur la vie socioéconomique des ménages. La présente étude met en évidence les enjeux économiques, sociaux et sanitaire de l'orpaillage qui sont de plus en plus reconnus et incitent à des réflexions sur les opportunités et les risques qui y sont liés. C'est dans cette optique que, la présente étude intitulé « Impacts de l'orpaillage traditionnel sur la vie socioéconomique des ménages dans le cercle de Kangaba au Mali : cas des villages de Dabalé et Kokoyo ».

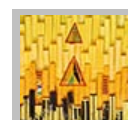
II. METHODOLOGIE

2.1 Zone d'étude

La région de Koulikoro et précisément le cercle de Kangaba a été retenu pour mener cette étude parce que c'est une zone par excellence d'orpaillage artisanal. Les principaux villages choisis sont Kokoyo et Dabalé car ils sont réputés pour l'orpaillage artisanal, abritent un ou plusieurs sites d'extraction dont au moins un actif, et connaissent une grande ruée de personnes sur leur site. En plus, l'agriculture et le petit élevage sont les principales activités des populations et constituaient les principales sources de revenus.

2.2 Echantillonnage

Pour mener à bien cette étude, un échantillon de 30 ménages par village a été choisi soit un effectif total de 60 ménages dans un contexte non probabiliste à cause de l'absence de liste exhaustive de la population. La méthode utilisée est celle dite des « quotas » ; elle s'impose lorsqu'il n'est pas facile de disposer d'une liste de sondage et la structure de la population à étudier est connue. Les ménages ont été choisis sur la base des critères suivants (i) être un résident sur le site ; (ii) avoir une



ou des activités (agriculture, élevage, commerçants, etc.) sur le site.

2.3 Collecte des données

Les données ont été collectées à travers un questionnaire introduit auprès des ménages faisant l'exploitation minière traditionnelle et les non exploitants (agriculteurs, commerçants, etc.). Cette collecte a permis de recueillir les informations sur l'influence de l'orpaillage traditionnel sur les différentes activités socioéconomiques des ménages.

2.4 Traitement des données

L'évaluation des impacts des activités de l'orpaillage traditionnel sur les conditions économiques et sociales des communautés a été faite à partir de l'analyse descriptive en utilisant l'approche des tris croisés. Par cette démarche, on fait un croisement des variables qualitatives deux à deux afin d'évaluer l'interaction en terme de pourcentage.

Les tris croisés permettent de montrer ou de vérifier les relations qui existent entre deux variables. Ils ont l'avantage de fournir des résultats simples, très proches des données de base [16].

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Caractéristiques socioéconomiques des ménages

Les caractéristiques des ménages de la zone d'étude sont présentées dans les figures ci-dessous.

3.1.1 Répartition selon l'âge

Les résultats de la figure 1 montrent que 60% des orpailleurs ont un âge compris entre 18 et 40 ans et 40% ont plus de 40 ans. La population jeune qui représente les bras valides pour la main-d'œuvre agricole est plus attirée par l'orpaillage. Cela a pour conséquence la réduction de la participation des jeunes dans les activités de productions agricoles telles que le labour, le binage, le sarclage, l'épandage des engrais, etc.

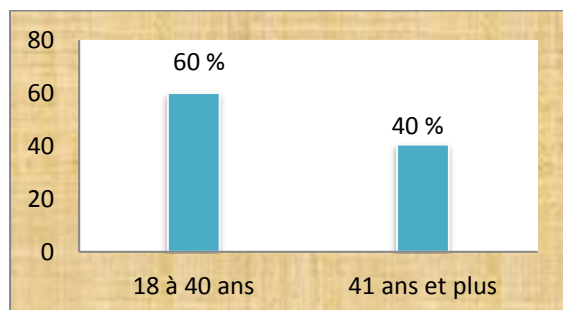


Figure 1 : Répartition selon l'âge.

3.1.2 Répartition selon le genre

Dans les villages de Kokoyo et Dabalé, les hommes sont plus impliqués dans l'orpaillage traditionnel que les femmes. En effet, 71,7 % sont des hommes

et 28 % seulement sont des femmes (Cf. figure 2). L'orpaillage traditionnel demande beaucoup de travaux physiques (creusement des puits, enlèvement des cuirasses, etc.) qui ne sont pas faciles pour les femmes. En général, les travaux réservés aux femmes ne demandent pas beaucoup d'efforts physiques (décantation, faire la cuisine, le petit commerce, etc.).

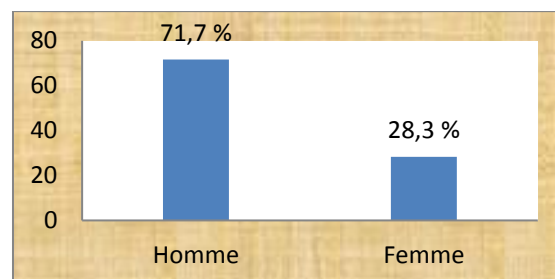


Figure 2 : Répartition selon le genre

3.1.3 Répartition selon le niveau d'instruction

La figure 3 révèle que le niveau d'instruction est faible sur les sites d'orpaillage traditionnel. En effet, seulement 2 % de la population enquêtée ont un niveau supérieur. Les jeunes ont tendance à accorder plus d'importance à l'orpaillage qu'aux études parce que c'est « une manière facile de gagner de l'argent ».

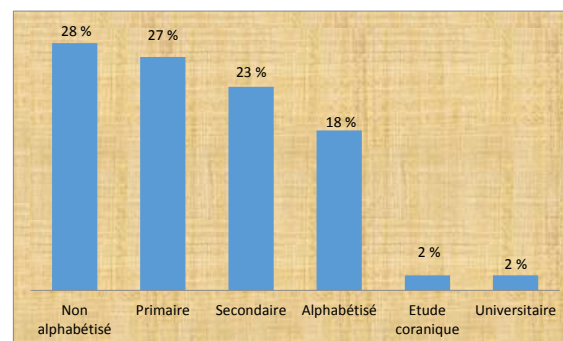


Figure 3 : Répartition selon le niveau d'instruction

3.2 Analyse tris croisés

3.2.1 Impact de l'orpaillage traditionnel sur les activités principales à Kokoyo et Dabalé

La pratique des activités ordinaires telles que l'agriculture, le commerce, l'enseignement et autres sont de plus en plus affectées par l'activité d'orpaillage traditionnel dans les zones aurifères. En effet, à Kokoyo 60% des ménages enquêtés pratiquent l'orpaillage artisanal. Mais ce pourcentage varie d'une activité principale à une autre par exemple, 90.91% (Agriculture), 33.33% (maraîchage), tous les réparateurs pratiquent l'orpaillage artisanal (Cf. Tableau 1). De même à Dabalé, parmi les ménages enquêtés, 66.67% affirment pratiquer l'orpaillage traditionnel. Tous ceux-ci pratiquent l'orpaillage traditionnel comme activité principale. (Cf. Tableau 2).



L'activité aurifère affecte l'agriculture d'une certaine manière parce que dans les zones d'orpaillage les travaux champêtres s'effectuent durant seulement deux jours de la semaine. Cependant, le maraîchage qui est une branche de l'agriculture qui génère plus de revenus mais demande beaucoup de temps et est presque inexistant alors que les conditions sont propices avec l'existence du fleuve et des plaines où le niveau de la nappe phréatique est élevé.

Ces résultats nous permettent d'appuyer ceux de [17] lorsqu'ils disent que dans le cercle de Yanfolila on rencontre plus d'agro-orpailleurs que d'orpailleurs et d'agriculteurs. Les agro-orpailleurs pratiquent l'agriculture en saison pluvieuse et l'orpaillage en saison sèche.

Tableau 1 : Impact de l'orpaillage traditionnel sur les principales activités à Kokoyo.

Activités principales	Orpaillage artisanal		Total (%)
	Oui (%)	Non (%)	
Agriculture	90,91	09,09	100,00
Commerce	00,00	100,00	100,00
Enseignant	00,00	100,00	100,00
Forgeron	00,00	100,00	100,00
Marabout	00,00	100,00	100,00
Maraîchage	33,33	66,67	100,00
Réparateur	100,00	00,00	100,00
Orpaillage	100,00	00,00	100,00
Ensemble	60,00	40,00	100,00

(%) : Pourcentage

Tableau 2 : Impact de l'orpaillage traditionnel sur les principales activités à Dabalé

Activités principales	Orpaillage artisanal		Total (%)
	Oui (%)	Non (%)	
Agriculture	76,92	23,08	100,00
Commerce	00,00	100,00	100,00
Enseignant	00,00	100,00	100,00
Chasse	100,00	00,00	100,00
Élevage	33,33	66,67	100,00
Ménuisier	00,00	100,00	100,00
Réparateur	00,00	100,00	100,00
Orpaillage	100,00	00,00	100,00
Ensemble	66,67	33,33	100,00

(%) : Pourcentage

Cependant, malgré la réduction de la pratique des activités ordinaires au profit de l'orpaillage traditionnel, il peut affecter positivement ou négativement ces activités. Ainsi, son influence positive est notée au niveau des activités telles que : (i) l'agriculture avec 76.92% à Dabale et 90.91% à Kokoyo (ii) la chasse (100%) à Dabale et (iii) le maraîchage (33.33%) à Kokoyo.

Le profit généré par l'orpaillage est une source de diversification de revenus et sert à financer la campagne agricole avec l'achat des matériels et intrants agricoles (charrues, charrettes, bœufs de labour, engrais, pesticides, herbicides).

Son influence négative est liée aux maladies, à l'effondrement des puits qui peut être fatal et à la destruction des forêts et des sols, etc.

3.2.2 Impact sur la scolarisation des enfants

L'orpaillage impacte négativement sur la scolarisation des enfants. En effet, selon les ménages enquêtés, plus de 60% des enfants abandonnent l'école au profit de l'orpaillage artisanal et moins de la moitié des enfants scolarisés participe activement aux activités d'orpaillage traditionnel. Ainsi, à Kokoyo et Dabale, les enfants scolarisés participent aux activités d'orpaillage avec respectivement 54.55% et 65% et pour les enfants non scolarisés 42.11% ont participé aux activités à Kokoyo contre 80% à Dabale.

Tableau 3 : Impact de l'orpaillage sur la scolarisation à Kokoyo

		enfants rôle orpaillage (%)	
Scolarisation		Non	Oui
	Non	42.11%	45.45%
	Oui	57.89%	54.55%
	Total	100	100

Source : Enquête SANOGO, 2019.

Tableau 4 : Impact de l'orpaillage sur la scolarisation à Dabalé

		enfants rôle orpaillage (%)	
Scolarisation		Non	Oui
	Non	31.25%	35.71%
	Oui	68.75%	64.29%
	Total	100	100

Source : Enquête SANOGO, 2019.

IV. CONCLUSION

Cette étude a été réalisée dans le but de mettre en évidence l'impact de l'orpaillage traditionnel sur la vie socioéconomique des ménages dans le cercle de Kangaba. Les résultats obtenus à partir de l'analyse descriptive ont montré que l'orpaillage traditionnel a des impacts positifs et négatifs sur la vie socioéconomique des ménages.



Au niveau des zones de l'étude, l'exploitation minière traditionnelle de l'or a pris beaucoup d'ampleur suite à l'augmentation de la valeur de l'or sur le marché mondial. Une des forces de cette activité est la diminution du taux de chômage dans les villages d'exploitation, ses environs et même au-delà de ces villages. Le cercle de Kangaba est une zone de production par excellence et accueille plusieurs milliers d'orpailleurs par an.

REFERENCES

- [1]. Campbell B., 2008 ; *L'exploitation minière en Afrique : enjeux de responsabilité et d'imputabilité*. Réflexion à partir des initiatives canadiennes récentes en matière de réglementation et de responsabilité des entreprises dans le secteur extractif ». *Conférence exploitation minière et développement durable en Afrique*, Conakry 9-13 juin 2008.
- [2]. Winkler D et Straumann A, 2016 ; L'extraction de l'or au Burkina Faso et la responsabilité de la Suisse.
- [3]. Keïta S, 2001 ; Etude sur les mines artisanales et les exploitations minières à petite échelle au Mali, Rapport final MMSD-IIED (Mining, Minerals and Sustainable Development is a project of the International Institute for Environment and Development), 53 pages.
- [4]. KEITA A. Janvier 2017, Orpaillage et accès aux ressources naturelles et foncières au Mali, 29p.
- [5]. MAINGUY C. 2013, *investissements étrangers et développement : Cas du secteur de l'or au Mali*, pages 87 à 102.
- [6]. FMI, 2013, Investissements étrangers et développement: le cas du secteur de l'or au Mali.
- [7]. DIAMOUTENE. A.K. DIAKITE L. COULIBALY. A. juin 2018. Seed Production and Technical Efficiency of Sorghum Farmers in Mali.
- [8]. PANELLA, C. 2005, je vais chercher le prix de condiments : rapport de genre, économie domestique et symbole de l'or de Yemasu (Vallée du Sankarani, Mali), page 427-443.
- [9]. KEITA. A , Janvier 2017, Orpaillage et accès aux ressources naturelles et foncières au Mali, 29p.
- [10]. OUEDRAOGO.A. H., 2006. Impact de l'exploitation artisanale de l'or (orpaillage) sur la santé et l'environnement. Gestion des substances toxiques, Portail Afrique de l'Ouest.
- [11]. TOMICIC.C, VERNEZ.D., BELEM.T., BERODE. M. 2011. Human mercury exposure associated with small-scale gold mining in Burkina Faso. International archives of occupational and environmental health
- [12]. SAWADOGO E. 2011. L'impact de l'exploitation artisanale de l'or : cas du site de Fofora dans la province du Poni (Mémoire de maîtrise, Université de Ouagadougou, Ouagadougou).
- [13]. YARO. Y., KABORE. I. KOBANKA. H., 2011. Etude sur le travail des enfants sur les sites d'orpaillage et les carrières artisanales dans cinq régions du Burkina Faso.
- [14]. OKOH. G., et HILSON, G., 2011. « Poverty and livelihood Diversification: Exploring the Linkages Between Smallholder Farming and Artisanal Mining ». *Journal of International Development*, 23(8) : page 1100–1114.
- [15]. OMS, 2013-2014. Rapport du secrétariat : *Conséquences pour la santé publique de l'exposition au mercure et aux composés du mercure : rôle de l'OMS et des ministères de la santé publique dans la mise en œuvre de la convention de Minamata*, 7 pages.
- [16]. CHARDON. P.-A. Juin 1980. Méthodes pratiques de dépouillement de questionnaires.
- [17]. SANGARE.O. 2016, Rôle de l'orpaillage dans le système d'activités des ménages en milieu agricole : Cas de la commune rurale de Gbomblora dans la région sud-ouest du Burkina Faso. Mémoire de fin d'études



Déterminants de la consommation de poulets à Bamako

Bankoro Bagayoko¹, Mamadou Sanogo¹, Moussa Tangara¹

Akory AG Iknane² et Kassim Diarra³

¹Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée

²Faculté de Médecine et Odonto Stomatologie

³Faculté des sciences et Techniques

RESUME : Au Mali la disponibilité et l'accessibilité de la viande de poulet restent assez difficiles pour bon nombres de consommateurs. Afin de trouver une solution à cette situation une étude a été menée sur la consommation de poulet dans les 6 communes du District de Bamako. L'objectif de cette étude est de déterminer les déterminants de la consommation de poulet. La méthode d'enquête par sondage a été utilisée. L'échantillon était composé de 200 ménages. Les résultats ont été analysés grâce au logiciel SPAD. L'étude a montré que 58% des consommateurs préfèrent le poulet villageois ; 20% le poulet chair vivant et 14% le poulet de chair prêt à cuire. 62% des consommateurs ont pour critères d'achat le goût et 28%, le prix. 43% pratiquent la friture, 28%, le rôtissage et 18%, le braisage. Les résultats montrent que le poulet villageois demeure le poulet préféré des consommateurs et le plus consommé dans les ménages. Les pratiques culinaires innovantes dans les ménages sont : la friture, le braisage, le rôtissage et le grillage.

Mots-clés: Consommation, Déterminants, Poulet, Ménages, Bamako

I. INTRODUCTION

Le Mali, à l'instar des autres pays d'Afrique subsaharienne, souffre d'un réel problème de déficit en protéines animales. L'une des solutions pour pallier à ce déficit, est une politique conséquente en matière de productions animales à travers l'intérêt à accorder à la production des animaux à cycle court. Les grandes villes constituant des structures en mutation où les besoins essentiels (logement, eau potable, équipements divers et denrées alimentaires) sont fréquemment mal assurés. La consommation alimentaire évolue et se diversifie par les plats consommés mais aussi par les modes de consommation [2]; [1].

L'analyse des comportements alimentaires dans les villes d'Afrique de l'Ouest a montré une évolution de la consommation, caractérisée par la diversification des produits. La diversité de la population urbaine, souvent d'origine rurale, est propice aux changements d'habitudes alimentaires, rendus possibles par de plus grandes disponibilité et variété de produits sur les marchés [12]. Par ailleurs, l'émergence d'une classe moyenne dans les grandes villes se traduit par une demande accrue en viandes, particulièrement en viandes blanches, ce qui a entraîné l'apparition d'ateliers de production de volailles [5]. Face à une augmentation de l'importation des produits carnés sur le marché de la viande des villes côtières de l'Afrique de l'ouest, des auteurs ont dénoncé la concurrence déloyale faite aux filières locales [14], [13].

L'aviculture au Mali demeure très compétitive lorsqu'elle est comparée à celle d'autres pays de la sous-région. Dans le cadre de la sécurité alimentaire de la population, elle joue un rôle assez important. En milieu urbain la consommation de viande est de

1,7 kg par habitant ; celle des œufs est de 16 unités. Le secteur de l'aviculture au Mali se trouve sous la menace des produits avicoles importés, le plus important reste la volaille importée tels que les poulets découpés importés (aillères, cuisses), poulets entiers importés, et d'autres viandes de volaille congelée comme les dindons. Au niveau des marchés dans les grandes villes les lieux de vente privilégiés des volailles congelées sont surtout les poissonneries. Au Mali, très peu d'études ont été réalisées sur la consommation de poulet, mais surtout sur les formes d'innovations liées à cette consommation.

L'objectif de cette étude est de déterminer les déterminants liés à la consommation de poulet. Il s'agit de mieux connaître les consommateurs de poulets, mieux appréhender leurs préférences en poulet transformé, comprendre les modes culinaires et l'environnement de cette consommation et analyser les enjeux de la consommation des poulets toutes catégories confondues dans les ménages et dans un contexte d'innovation alimentaire.

II. MATERIELS ET METHODES :

2.1 Matériels : ils comprennent la revue documentaire, les outils et équipements utilisés et le matériel animal les différents types de poulet.

2.2 Méthodes :

Cette étude a été conduite dans le District de Bamako sur le territoire des six communes sur 200 consommateurs de poulet dans les ménages. Cet échantillon présente une distribution statistique de certains caractères (poids démographique des zones enquêtées et/ou lieu de consommation, lieu de résidence du consommateur, taille du ménage du consommateur, répartition par sexe, niveau d'études



du consommateur, catégories socioprofessionnelles, décideurs de l'achat dans les ménages du consommateur, du type de logement, équipements et infrastructures), identiques à celle de la population dans laquelle il est prélevé. Deux types d'enquêtes au moyen de questionnaires/trames ont été menés dans le cadre de cette étude. La première est une enquête exploratoire. La seconde est une enquête transversale par questionnaire fondée sur les résultats de l'enquête exploratoire. Pour chaque type de population ciblée, un questionnaire spécifique a été élaboré. Le questionnaire sur la consommation de poulet dans les ménages est de type semi-structuré et comprend des questions ouvertes.

Le ménage constitue l'unité de notre étude et ses contours sont délicats à délimiter en milieu urbain africain. En tenant compte du thème de l'étude, nous avons retenu comme définition du ménage le groupe de personnes apparentées ou non, qui partagent le même toit, mettent en commun toutes ou partie de leurs ressources pour subvenir à leurs besoins essentiels, notamment la nourriture et le logement, et reconnaissent l'autorité d'une seule et même personne qui est le chef du ménage [8]. La femme qui a en charge l'organisation des repas peut, de façon précise, recenser l'ensemble des individus qui ont partagé les différents plats consommés au cours des repas d'une journée [1].

Tableau 1. Répartition des ménages enquêtés par commune

Commune	Superficie (km ²)	Populations	Nombre ménages	%	Echantillon retenu
I	35,50	273 240	32 300	20,12	40
II	16,81	141 217	18 664	11,63	23
III	23,00	101 360	13 901	8,66	18
IV	46,87	232 233	28 025	17,46	35
V	41,00	279 240	31 485	19,61	39
VI	88,82	454 153	36 150	22,52	45
Total			160525	100	200

Le tableau qui suit présente la feuille de quota à respecter dans les six (06) communes du District de Bamako. Il s'agit de raisonner en termes d'existence et de prédominance des différents types d'habitat dans les communes.

Tableau 2 Feuille de quotas dans les communes

Type d'habitat	C 1	C 2	C 3	C 4	C5	C6
Cases isolées	2	0	0	2	2	2
Maisons en banco	20	11	9	16	20	22
Maisons en dur	14	9	6	13	13	16
Immeubles	4	3	2	4	4	5
TOTAL	40	23	18	35	39	45

Analyses Statistiques :

Toutes les données ont été analysées avec le logiciel SPAD afin de faire ressortir les résultats en fonction de l'objectif de l'étude. Ainsi, les données de l'enquête ont fait l'objet d'analyses mono et bi-variées (tris à plat, tris croisés et tests statistiques).

Pratiques de consommation :

Dans le cadre de notre travail, la consommation de poulet est considérée dans son ensemble sans tenir compte des autres types de viande. La répartition des ménages en fonction de la préférence et de la fréquence de consommation des différents types de poulet est donnée.

III. RESULTATS

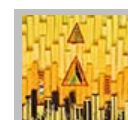
3.1 Préférence des ménages

Le poulet villageois est le type de poulet préféré dans les ménages de Bamako et il se situe en première position avec un pourcentage de 58% (Tableau 3). Il est suivi du poulet chair vivant en seconde position avec un pourcentage de 20%. Le poulet de chair prêt à cuire arrive après le poulet chair vivant en termes de préférence par les consommateurs. Enfin le poulet importé congelé (entier ou découpé) est le moins préféré avec un pourcentage cumulé de 8%.

Tableau 3. Niveau de préférence des différents types de poulet

N°	Type de poulet	Nombre (N) de poulet	Préférence (%)
1	Poulet villageois	116	58
2	Poulet chair vivant (réforme)	40	20
3	Poulet chair prêt à cuire (engraissé)	28	14
4	Poulet importé entier congelé / Poulet importé découpé congelé	16	8
	Total	200	100

Khi2 d'ajustement = 100, 00 ; ddl = 4, très hautement significatif



Dans la ville de Bamako, plus de la moitié des ménages enquêtés préfèrent le poulet villageois, dans le tableau ci-dessus nous constatons que les autres poulets présentés dans le marché n'attirent pas autant les consommateurs comme le poulet villageois.

Tableau 4 : Lieux de résidence des consommateurs de poulet

N°	Communes	Nombre de poulet (N)	Pourcentage (%)
1	Commune VI	60	30
2	Commune V	18	9
3	Commune IV	28	14
4	Commune III	30	15
5	Commune II	38	19
6	Commune I	26	13
	Total	200	100

Khi2 d'ajustement = 57,94 ; ddl = 5, hautement significatif

Dans ce tableau, nous avons une représentation spatiale de la consommation de poulet dans le District de Bamako. Nous avons ici en détail la répartition du nombre de consommateurs de poulet par commune. Nous constatons que les consommateurs les plus nombreux sont dans les communes 6 et 2.

3.2 Fréquence de consommation

De l'analyse de l'enquête sur la consommation du poulet dans les ménages à Bamako (Tableau 5), il ressort que seulement 5% des consommateurs bamakois consomment le poulet chaque jour et 32% des consommateurs consomment le poulet 1 fois par semaine alors que ceux qui consomment rarement le poulet constitue 14% (khi²=64,76 et ddl = 4).

Tableau 5 : Fréquence de consommation de poulet dans les ménages

N°	Fréquence d'achat du poulet	Nombre de poulet (N)	Pourcentage (%)
1	Chaque jour	10	5
2	Chaque semaine	64	32
3	Chaque mois	32	16

4	Moins d'une fois par mois	66	33
5	Très rarement	28	14
	Total	200	100

Khi2 d'ajustement = 64,76 ; hautement significatif

Dans ce tableau nous constatons que la fréquence de consommation de poulet est plus importante dans les familles moins nombreuses et plus faible dans les familles nombreuses.

3.3 Types de poulets consommés

Les données du tableau 5 montrent que, pour l'ensemble des ménages enquêtés, le poulet villageois est le plus fréquemment consommé (59% des cas) suivi du poulet de chair vivant (38% des cas). Le poulet importé congelé est très rarement ou pas du tout consommé. Ces résultats sont très hautement significatifs avec un Khi² = 107,76 et un ddl = 4.

Tableau 6 : Types de poulet ordinairement consommés

N°	Types de poulet	Nombre (N)	Pourcentage (%)
1	Poulet villageois	118	59
2	Poulet chair vivant	52	26
3	Poulet chair prêt à cuire	24	12
4	Poulet importé entier congelé	6	3
	Total	200	100

Khi2 d'ajustement = 107,76 ; ddl = 4, très hautement significatif

Ces résultats montrent que 58 % (Tableau 3) des consommateurs de poulets dans les ménages à Bamako préfèrent le poulet villageois, mais aussi dans les ménages à Bamako, 59% (tableau 6) des consommateurs consomment couramment le poulet villageois, ce qui veut dire que les consommateurs de poulets dans les ménages à Bamako consomment ce qu'ils préfèrent.

Tableau 7 : Type de poulet consommé lors des fêtes et cérémonies religieuses/ traditionnelles

N°	Types de poulet	Nombre (N)	Pourcentage (%)
1	Poulet villageois	138	69
2	Poulet chair vivant	44	22
3	Poulet chair prêt à cuire	14	7



4	<u>Poulet importé entier congelé / Poulet importé découpé congelé</u>	4	2
	<u>Total</u>	<u>200</u>	<u>100</u>

Khi2 d'ajustement = 132,42 ; ddl = 4, très hautement significatif

En termes de situation de consommation, le poulet villageois est consommé par 69% des ménages lors des fêtes et cérémonies/religieuses (Tableau 6). Ces résultats de l'enquête démontrent une discrimination positive du poulet villageois par rapport aux autres types de poulet. Le Khi² = 132,42 avec ddl (degré de liberté) = 4, montre que ces résultats sont très hautement significatifs. Le poulet congelé importé est peu consommé (2p.100).

3.4 Fréquence d'achat de poulet par les consommateurs dans les ménages

A partir de l'analyse la fréquence d'achat du poulet par les ménages à Bamako, il est fort de constater que la fréquence d'achat est corrélée avec celle de la consommation (Tableau 7), malgré la forte préférence du poulet par les consommateurs dans les ménages. Ce qui traduit la consommation du poulet le jour même de son achat.



Photo : Poulets chair vivant (P de réforme).

Tableau 8 : Fréquence d'achat de poulet par les consommateurs dans les ménages

N°	<u>Fréquence d'achat du poulet</u>	<u>Nombre (N)</u>	<u>Pourcentage (%)</u>
1	<u>Chaque jour</u>	<u>10</u>	<u>5</u>
2	<u>Chaque semaine</u>	<u>64</u>	<u>32</u>
3	<u>Chaque mois</u>	<u>32</u>	<u>16</u>
4	<u>Moins d'une fois par mois</u>	<u>66</u>	<u>33</u>
5	<u>Très rarement</u>	<u>28</u>	<u>14</u>
	<u>Total</u>	<u>200</u>	<u>100</u>

Khi2 d'ajustement = 64,76 ; hautement significatif

Cette fréquence d'achat est suivie par la fréquence de consommation, dans les ménages les consommateurs ne gardent pas de poulet, ils achètent et ils abattent pour la consommation.



Photo : d'une échoppe en Commune 6

3.5 Lieux d'achat des poulets

Tableau 9 : Lieux d'achat du poulet lors des fêtes et autres événements

N°	<u>Lieux d'achat des poulets (fêtes/événements)</u>	<u>Nombre (N)</u>	<u>Pourcentage (%)</u>
1	<u>Echoppe</u>	<u>98</u>	<u>49</u>
2	<u>Grand marché</u>	<u>52</u>	<u>26</u>
3	<u>Supermarché</u>	<u>22</u>	<u>11</u>
4	<u>Périurbain</u>	<u>20</u>	<u>10</u>
5	<u>Village / Ferme</u>	<u>8</u>	<u>4</u>
	<u>Total</u>	<u>200</u>	<u>100</u>

Lors des cérémonies et fêtes religieuses, 49% des consommateurs achètent leurs poulets dans les échoppes et 26% dans les grands marchés. Ces résultats montrent une affluence des consommateurs vers les échoppes par rapport aux autres lieux d'achat du poulet lors des fêtes, parce que les échoppes sont situées dans les quartiers non loin des domiciles et lors des fêtes les consommateurs ne veulent pas perdre de temps. Ces résultats sont hautement significatifs avec khi² = 99,23 et un ddl = 5.

3.5 Critères d'achat

Tableau 10 : Critères d'achat du poulet par les consommateurs dans les ménages à Bamako

N°	<u>Critères de choix</u>	<u>Nombre de poulet (N)</u>	<u>Pourcentage (%)</u>
1	<u>Goût</u>	<u>124</u>	<u>62</u>
2	<u>Prix</u>	<u>56</u>	<u>28</u>
3	<u>Pas d'avis</u>	<u>12</u>	<u>6</u>



4	<u>Facilité de cuisson</u>	8	4
	<u>Total</u>	<u>200</u>	<u>100</u>

Khi2 d'ajustement = 93,60 ; ddl = 3, hautement significatif

Au vu des résultats du tableau 9, les critères susceptibles d'être utilisés dans le choix d'acquisition du poulet sont d'ordre organoleptique (goût), économique (prix) et technologique (facilité de cuisson).

Il est observé que le goût (caractéristique sensorielle) est le principal élément qui motive le consommateur dans son choix, soit un pourcentage de 62%. Le prix vient en seconde position avec 28%. Les résultats sont hautement significatifs avec un $khi^2 = 93,6$ et un $ddl=3$.

Le critère de choix le plus important pour les consommateurs dans les ménages demeure le goût, car c'est dans les ménages que le poulet villageois est massivement consommé, et c'est aussi le poulet villageois qui reste le poulet le plus préféré des consommateurs. Cela a une relation avec le goût qui demeure le critère de choix du consommateur, parce que tous les consommateurs apprécient le goût du poulet villageois par rapport aux autres types de poulet. Le fait que les consommateurs au niveau des ménages choisissent majoritairement le poulet villageois peut être imputé à certains facteurs qui sont : la forte demande lors des fêtes traditionnelles, la facilité de transporter, l'accessibilité et la disponibilité dans les différents marchés de Bamako.

3.6 Pratiques culinaires

Tableau 11 : Répartition des ménages en fonction du mode de cuisson pratiqué

N°	Types de cuisine	Nombre (N)	Pourcentage (%)
1	<u>Friture</u>	<u>86</u>	<u>43</u>
2	<u>Rôtissage</u>	<u>56</u>	<u>28</u>
3	<u>Braisage</u>	<u>36</u>	<u>18</u>
4	<u>Grillade</u>	<u>16</u>	<u>8</u>
5	<u>Fumage</u>	<u>6</u>	<u>3</u>
	<u>Total</u>	<u>200</u>	<u>100</u>

Khi2 d'ajustement = 75,76 ; ddl = 4, hautement significatif

Les modes de cuisson les plus pratiqués par les ménages sont la friture (43%) et le rôtissage (28%). Ces résultats sont très hautement significatifs avec un $khi^2 = 75,76$ et un ddl (degré de liberté) = 4. La discrimination de la friture du poulet par rapport aux autres modes culinaires dans les ménages lors des fêtes peut relever des facteurs qui suivent : rapidité

de la cuisson, simplicité, compatibilité ou convenance du poulet frit avec plusieurs menus, méthode innovante (Tableau 10).

3.7 Influence des variables sur la consommation du poulet dans les ménages

Les différents types de comportement d'achat et pratiques de consommation sont croisés entre eux et avec des variables individuelles des ménages pour mettre en évidence d'éventuelles variations.



Photo : Maquis pour poulet rôtis



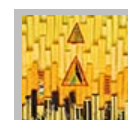
Photo de Poulet Braisé



Photo : Poulet frit



Photo : Poulet grillé



3.7.1 Taille du ménage et consommation du poulet

Tableau 12 : Influence de la taille du ménage / la fréquence de consommation du poulet

Taille du ménage / Fréquence de consommation du poulet	Chair prêt à cuire	Chair vivant / Importé découpé congelé	Villageois / Importé Entier congelé	Total
2 à 5 convives	14	18	52	84
6 à 12 convives	8	13	31	52
Plus de 12 convives	6	14	44	64
Ensemble	28	45	127	200

p=0,219

L'étude de l'influence de la taille du ménage sur les fréquences de consommation de poulet a permis d'obtenir les résultats suivants :

- la fréquence de consommation de poulet dans les ménages est liée à la taille du ménage à Bamako.
- Plus une famille est nombreuse, moins les consommateurs consomment du poulet
- Plus une famille est moins nombreuse plus les consommateurs consomment du poulet
- il existe un lien entre la Taille des ménages et la fréquence de consommation du poulet à Bamako, plus le nombre de personnes est élevé dans un ménage, moins ils consomment le poulet ; et moins la famille est nombreuse, plus la fréquence de consommation est élevée.

3.7.2 Type de poulet consommé et préférence du poulet

Les résultats des tableaux 12 et 13 indiquent une variation de la préférence des consommateurs en fonction des types de poulets consommés.

Tableau 13 : Influence de la consommation de poulet dans les ménages lors des fêtes sur la préférence du type de poulet consommé

Consommation du Type de poulet lors des fêtes / Préférence du type de poulet consommé	Chair prêt à cuire / Chair vivant	Importé découpé congelé / Importé Entier congelé / Villageois	Total
Chair prêt à cuire / Chair vivant / Importé découpé congelé /	51	10	61

Importé entier congelé			
Villageois	18	121	139
Ensemble	69	131	200

p = 0.000

Le niveau d'instruction du consommateur peut avoir une influence sur les comportements du consommateur, cela se manifeste à travers son choix du point de vente de poulet (préférence du lieu d'achat), son choix du type de poulet à consommer (préférence du type de poulet), et sa fréquence d'achat du poulet (préférence du prix d'achat et du goût du poulet à consommer).

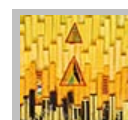
Une bonne partie des consommateurs font leurs achats de poulets au grand marché et dans les supermarchés de façon courante (44% des universitaires et 31% de ceux qui ont le niveau d'études collège/Lycée). Ceux qui n'ont pas fait d'études ne fréquentent généralement pas les supermarchés. Cette relation positive entre le niveau d'instruction et le ravitaillement en poulets aux points de vente est statistiquement significative (Tableau13).

Tableau 14: Niveau d'études/Lieux d'achat du poulet lors des autres occasions

Niveau d'études / Lieux d'achat du poulet lors des autres occasions	Echoppes / Grand marché/ Supermarché	Ferme/Village / Périurbain	Total
Université	44	31	75
Collège/lycée	31	14	45
Primaire	19	14	33
Non instruit	36	11	47
Ensemble	130	70	200

p= 0.003

Il ressort que dans les six communes de Bamako, les consommateurs de poulet sont majoritairement représentés par le groupe, des alariés/fonctionnaires commerçants, élèves, étudiants, jeunes diplômés et autres. Ils consomment les quatre types de poulets à savoir le villageois, le chair prêt à cuire, l'importé entier et l'importé découpé en utilisant les modes culinaires les plus pratiqués pour la cuisson du poulet. 44% des universitaires font leur achat dans les échoppes, grands marchés et supermarchés lors des autres occasions c'est-à-dire en dehors des fêtes. 36% de ceux qui n'ont pas fait d'études font aussi leur achat au même lieu que les universitaires, ce groupe appartient aux commerçants privilégiés et aux



sont conformes à ceux obtenus par [10] à Cotonou, par [7] et [9] à Dakar. On peut donc penser qu'avec « l'innovation-produit » et « l'innovation-processus » comme dans le cas des poulets importés, notamment au niveau de la découpe, le poulet deviendrait plus accessible et perdrait peut-être un peu de son statut de consommation festive. Mais cette innovation suppose la formation des abatteurs de volailles et de transformateurs qualifiés, ce qui n'est pas très souvent le cas dans les marchés à Bamako aujourd'hui, fait annoncé par [2]. La préférence de poulet villageois par rapport aux autres types de poulet présentés dans le marché peut s'expliquer par certains facteurs tels que l'accessibilité du poulet villageois, sa disponibilité, son appréciation sensorielle et sa place dans les cérémonies. Ces résultats ci-dessus obtenus à Bamako lors de la consommation de poulet dans les ménages sont conformes à ceux obtenus par [2] à Bamako et [7] à Dakar.

La préférence du poulet villageois parmi les autres types de poulet présentés dans les marchés à Bamako est conforme aux résultats obtenus par [2] à Bamako et [7] à Dakar.

La forte consommation du poulet villageois par le consommateur peut s'expliquer par certaines considérations dont la disponibilité et l'accessibilité du poulet villageois, son appréciation sensorielle, le pouvoir d'achat et la confiance qu'a le consommateur dans le poulet villageois.

Le choix du poulet villageois par les consommateurs lors des fêtes et cérémonies religieuses traditionnelles peut s'expliquer par les facteurs tels que l'accessibilité et la disponibilité du poulet villageois, ces résultats sont parallèles à ceux obtenus par [7,15,16] à Dakar, [5] à Yaoundé et par [6, 2] à Abidjan. La fréquence d'achat des poulets est corrélée avec celle de la consommation malgré la forte préférence du poulet villageois par les consommateurs dans les ménages. Ce qui traduit la consommation du poulet le jour même de son achat, ces résultats obtenus sont conformes avec ceux obtenus par [5] à Yaoundé.

On note une variabilité des lieux d'achat pendant le choix lors des fêtes et cérémonies, ce qui peut être influencé par les facteurs suivants : prix relativement bas, préférence du poulet villageois, disponibilité du poulet villageois, l'accessibilité des volailles, service après-vente (égorgement et plumage, découpe, emballage), ces résultats sont en accords avec ceux obtenus en Indonésie par [6] à Djakarta.

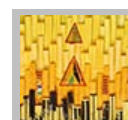
V. CONCLUSION

Les résultats montrent que le poulet villageois reste le poulet le plus préféré des consommateurs dans les ménages. Il demeure également le poulet le plus consommé dans les ménages à Bamako. Ce type de poulet est le plus cuisiné dans les ménages à Bamako

et il constitue le type de poulet le plus commercialisé par les vendeurs de volaille. Dans cette étude, il apparaît que les lieux d'achat privilégiés de poulet par les consommateurs sont les échoppes et les grands marchés lors des fêtes et événements importants. L'étude indique aussi les pratiques innovantes dans la préparation du poulet à Bamako. Les modes culinaires innovantes dans les ménages à Bamako demeurent : le rôti, la friture, le braisage ; le grillage et le fumage sont des pratiques innovantes mais peu ou pas pratiquées dans les ménages. Représentation graphique en AFC des différents déterminants de la consommation de poulet dans les ménages à Bamako montrent une répartition spatiale des consommateurs de poulet à Bamako. Elle montre aussi une variabilité des comportements dans l'achat, la préparation, et la consommation de poulet à Bamako.

REFERENCES

- [1] Ag Bendeche M., Chauliac M., Gerboun R., Kante N., Malvy D.J.M. 2000. Les enjeux de la consommation alimentaire en milieu urbain à Bamako –245p.
- [2] Ag Bendeche M., Chauliac M., Malvy D. 1996. Variabilité des pratiques alimentaires à référence domicile des familles vivant à Bamako selon le niveau socio-économique. Cahiers Santé, 6, 285-97. p.
- [3] Awono C., Laroche-Dupraz C., Grongnet J.F., Vermersch D., Havard M., Lhuissier A., 2005. Déterminants de la consommation urbaine de poulet de chair au Cameroun : Cas de la ville de Yaoundé, atelier « Agriculture et développement urbain en Afrique de l'Ouest et du centre, Yaoundé, Cameroun. 126p.
- [4] Awono C., Laroche-Dupraz C., Grongnet J.F., Vermersch D., Havard M., 2005. Déterminants de la consommation urbaine de poulet de chair au Cameroun : Cas de la ville de Yaoundé, atelier « Agriculture et développement urbain en Afrique de l'Ouest et du centre, Yaoundé, Cameroun. 172P.
- [5] Awono B. C. 2008. Les déterminants microéconomiques de la consommation urbaine de poulets de chair dans les pays du sud : cas du Cameroun et d'Haïti., Agrocampus VAS, thèse 224p.
- [6] Budiastira I.G.S., Udo H.M.J., AJ Van der Zijpp, Murti T.W., Baiarti E., Murti T.W. : 2006. Fêtes religieuses et de l'offre et la demande des petits ruminants dans le centre de Java Indonésie, (thèse de doctorat, la dynamique de développement des petits ruminants dans le centre de Java, en Indonésie, systèmes de production animale, l'Université de Wageningen, Pays-Bas). .



- [7] Cardinale E, (2000). Consommation de poulet de chair au Sénégal. Actes de l'atelier international. Montpellier. France. 53p.
- [8] DNSI, 2003. Données de la Direction Nationale de la Statistique et de l'informatique. Bamako, Mali. 95P.
- [9] Fall.F, (2000). Consommation de poulet de chair au Sénégal et risque pour la santé publique. Montpellier. 52p.
- [10] Gbaguidi. A. (2001). Etude de la filière avicole au Bénin. Situation actuelle et perspectives de développement. Thèse de Doctorat. Ecole Nationale de Médecine Vétérinaire de Sidi Thabet Tunisie. 179p.
- [11] Hanak.E, (2002). Gestion de la sécurité des aliments dans les pays en développement. Actes de l'atelier international. Montpellier, France. CIRAD-FAO. 45p.
- [12] Mankor. 2011. Etude des déterminants de la consommation urbaine en viandes en Afrique de l'ouest : L'exemple de Dakar, thèse de doctorat, 242 p.
- [13] Rolland J. P. (1994). Impact de l'accord du GATT et de la réforme de la PAC : le cas du marché euro-africain de la viande bovine. - Réseau Stratégies Alimentaires. - Collection Solagral. MONTPELLIER, 182 p
- [14] Simier, J. P. (1993). Les échanges internationaux de viande. - Réseau Stratégies Alimentaires. - Collection Solagral. - MONTPELLIER, Novembre 1993, 154 P.
- [15] Teno G. (2010). Analyse du système de commercialisation du poulet du pays dans le département de Dakar (Sénégal). Mém : Master : Dakar ; 3p
- [16] Traore N., Diallo A. A. Tangara M. (1996). Etude de marché des produits avicoles dans le District de Bamako. Bamako. 27p.



Perceptions par les populations de l'évolution de ressources naturelles dans un contexte de changement climatique : Cas de quatre terroirs villageois dans le Haut-Plateau-Dogon, région de Mopti au Mali

Kantougoudiou Coulibaly^{1*}, Djibril Berthe¹, Siaka Diarra¹ et Abdou Ballo²

¹ Institut Économie Rurale (IER)/Centre Régional de Recherche Agronomique, Mopti, Mali

² Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Mali

*Adresse email de la personne de Contact : coulibalykantougoudiou@yahoo.fr

RESUME : La disparition progressive du parc arboré dans le Haut-Plateau-Dogon consécutivement au déboisement et aux sécheresses successives des trois dernières décennies compromet la durabilité de son système de production agrosylvopastorale, base de survie de ses populations. Ainsi, certains paysans de la zone ont réagi en appliquant la Régénération Naturelle Assistée (RNA), pratique agroforestière qui contribue efficacement à la restauration du couvert arboré. Cette recherche vise à faire mieux connaître par les paysans l'évolution de ressources telles l'eau, la faune, notamment la végétation de leurs terroirs. Elle a été réalisée dans les villages de Daga-Tireli, Goundoli-Dogon (ou Gondoly-Djeninké), Kamba-Bandié et Kédou. Des cahiers, bics, grandes feuilles, feutres et de la colle ont été utilisés pour établir les cartes à dire d'acteurs des ressources, les listes des espèces ligneuses et le profil historique. Un focus group a donc été tenu dans chaque village. A l'occasion, les paysans ont été invités à dessiner une carte de l'état des ressources à quatre périodes différentes : 1° situation avant l'installation du village ; 2° situation à l'installation du village ; 3° transition entre l'installation du village et la situation actuelle ; 4° situation actuelle. On demandait également à chaque focus group de citer les espèces ligneuses et leur état aux quatre périodes ainsi que les raisons de cette situation. Ensuite, l'équipe de chercheurs a, à l'aide des cartes et listes, élaboré sur les quatre périodes le profil historique de l'évolution des ressources pour l'ensemble des terroirs. De la première à la quatrième période, il ressort la diminution des ressources, entre autres, en eau, faune, végétation, particulièrement la disparition de huit espèces utilitaires qui sont *Adansonia digitata*, *Bombax costatum*, *Borassus aethiopium*, *Ceiba pentandra*, *Daniellia oliveri*, *Detarium microcarpum*, *Parkia biglobosa* et *Tamarindus indica*. Pour les producteurs, la sécheresse et le déboisement sont les causes essentielles de cette situation. Il est souvent fait cas dans la littérature des actions anthropiques et de la péjoration climatique comme causes de la destruction de la végétation de la zone soudano-sahélienne. La disparition des peuplements de *Adansonia digitata* et *Parkia biglobosa* est rapportée par des recherches faites à Niacongo, village situé dans la région de Mopti au Mali. Une autre étude fait cas, pour la même région, de la baisse continue des sujets de *Tamarindus indica*. Les paysans ont perçu dans leurs terroirs la diminution continue des ressources naturelles et notamment la disparition d'un nombre important d'espèces ligneuses utilitaires au cours du temps. Au regard de l'importance du parc arboré et de sa vulnérabilité au changement climatique en cours, des recherches de même genre devraient être faites dans d'autres villages de la zone soudano-sahélienne. Des mesures doivent être prises pour faire adopter la RNA à une plus grande échelle.

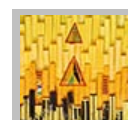
Mots clefs : paysans, régénération naturelle assistée, focus group, carte à dire d'acteurs, profil historique

I. INTRODUCTION

La prise en compte non effective des perceptions qu'ont les producteurs de l'évolution des ressources naturelles et de la population de leurs terroirs ne permet pas de saisir leurs connaissances à ce sujet. Cette situation ne favorise pas l'élaboration de stratégies, notamment dans le contexte du changement climatique, adaptées à une gestion durable du système de production agrosylvopastorale, base de survie des populations.

Face à la destruction quasi généralisée du parc arboré ou agroforestier, certains villages de la zone

agroécologique (ZAE) du Haut-Plateau-Dogon ont réagi en pratiquant la Régénération Naturelle Assistée (RNA) [1]. La RNA consiste à repérer, sélectionner, protéger et entretenir les jeunes pousses des espèces ligneuses dans les champs de cultures pour créer ou recréer une végétation ligneuse afin de contribuer efficacement à la restauration du parc agroforestier [1, 2]. Dans la région de Mopti, la population du village de Ficko perçoit son parc agroforestier en augmentation notamment dans sa composante principale qu'est *Borassus aethiopium*, tandis que celle de Niacongo



voit plutôt une diminution particulièrement de l'espèce principale *Faidherbia albida* [3].

La présente recherche qui s'inscrit dans un projet plus vaste intitulé "évaluation participative de la régénération naturelle assistée pour une gestion durable de l'arbre dans les champs de cultures du plateau dogon" s'est donc attardée sur les perceptions qu'ont les populations de l'évolution de ressources naturelles dans un contexte de changement climatique. Le but de cette recherche était de faire mieux connaître par les paysans l'évolution de ressources telles l'eau, la faune, notamment la végétation de leurs terroirs. L'étude a été exécutée à travers des focus group composés d'hommes et de femmes des villages de Kédou, Goundoli-Dogon, Kamba-Bandié et Daga-Tireli.

II. MATERIEL ET METHODES

2.1. Matériel

2.1.1. Sites de recherche

La région de Mopti est située en zone sahélienne du Mali caractérisée par de fortes variations climatiques et une pluviométrie annuelle moyenne comprise entre 600 mm dans sa partie sud et 200 mm dans sa partie nord. Elle jouit d'un climat de type sahélien.

Dans le cadre de la présente étude, quatre terroirs villageois ont été retenus dans la ZAE du Haut-Plateau-Dogon (cercle de Bandiagara) soit deux sites tests et deux témoins. Le village de Gondoly-Djeninké ou Goundoli-Dogon site test situé dans la commune rurale de Wadouba et son témoin Kédou dans celle de Ségué-Iré sont distants d'environ 15 km ; le site test de Kamba-Bandié et son témoin Daga-Tireli sont distants d'environ 12 km et situés tous les deux dans la commune rurale de Sangha (voir figure 1). Les terroirs "tests" pratiquent la RNA avec un taux d'adoption élevé et dans les "témoins," l'adoption des techniques de RNA est encore faible ou n'existe même pas.

2.1.2. Matériel technique

Il comprend le questionnaire-guide comme outil de collecte de l'information, des cahiers, bics, grandes feuilles, feutres et de la colle utilisés pour établir les cartes à dire d'acteurs des ressources, de même que les listes des espèces ligneuses et le profil historique.

Le questionnaire-guide élaboré portait sur l'historique de l'occupation et de l'utilisation des terres en général, de la végétation en particulier et plus précisément de la RNA.

2.2 Méthode

Des discussions de groupe ou « focus group » ont été réalisées sous forme de causerie-débats au cours de 2019. Pour ce faire, un groupe mixte associant

hommes et femmes a été constitué dans chaque village : soit un total de quatre groupes (voir tableau 1).

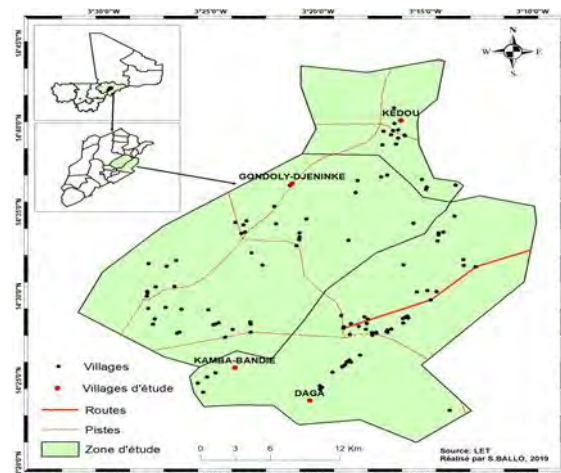


Figure 1. Carte de localisation des villages de recherche à l'intérieur du cercle de Bandiagara délimité dans le Plateau Dogon.

Tableau 1 : Composition des groupes de discussion dans les 4 villages de recherche

Village	Effectif homme	Effectif femme	Total village	Participation %	
				Femme	Homme
Kédou	22	86	108		
Gondoli-Dogon	9	22	31		
Kamba-Bandié	19	5	24		
Daga-Tireli	21	4	25		
Total général	71	117	188	62	38

Une séance de causerie a eu lieu avec chaque groupe. A l'occasion, les participants et participantes ont été invités à dessiner une carte de l'état des ressources de leur terroir à quatre périodes différentes : P1° situation avant l'installation du village ; P2° situation à l'installation du village ; P3° transition entre l'installation du village et la situation actuelle ; P4° situation actuelle. On demandait également à chaque groupe de discussion de mentionner les espèces ligneuses et leur état aux quatre périodes ainsi que les raisons de cette situation. Ensuite, l'équipe de chercheurs a, à l'aide des cartes et listes, élaboré sur les quatre périodes le profil historique. Celui-ci a été présenté sous forme d'un dessin en flèche traversant 4 périodes (P1, P2, P3, P4) et ayant des symboles représentant, entre autres, la pluie, la végétation, l'homme, le cheptel, etc.



Il ressort du tableau 1, une participation générale d'environ 190 personnes composées à 2/3 de femmes contre 1/3 d'hommes. Il faut signaler que la grande mobilisation a été observée dans le village de Kédou avec notamment 4 fois plus de femmes que d'hommes.

III. RÉSULTATS

3.1 Les cartes paysannes de l'évolution des ressources

3.1.1 Carte à dire d'acteurs du terroir du village de Kédou

La figure 2 montre pour le terroir du village de Kédou la représentation schématique des types de ressources pendant les quatre périodes P1, P2, P3 et P4 séparées de gauche à droite et de haut en bas.

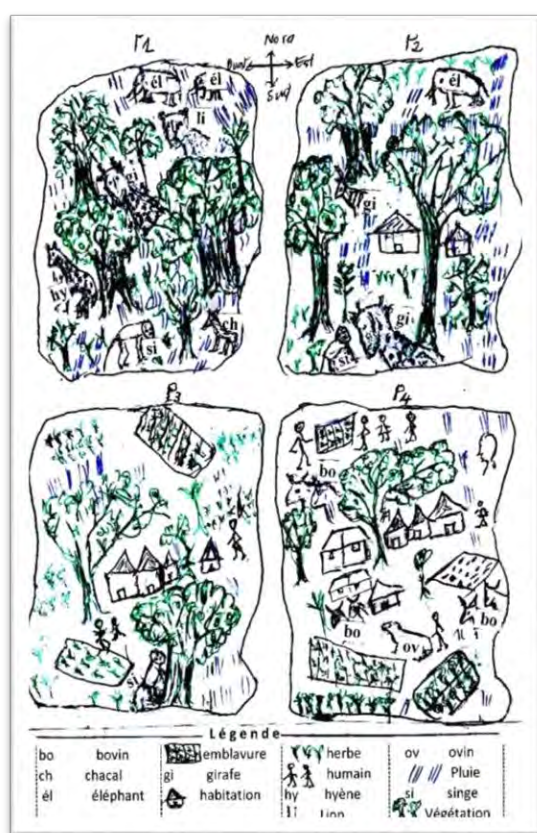


Figure 2. Carte paysanne de l'état des ressources naturelles et de la population du terroir de Kédou aux périodes P1, P2, P3 et P4.

Pour P1 : Avant l'installation du village

Il est ressorti des déclarations du groupe de discussion, que la végétation ligneuse du terroir villageois était dense. On remarque ainsi la présence de grands arbres, beaucoup d'arbustes, d'arbrisseaux dans la carte. Les sols étaient bien recouverts de plantes herbacées et la pluviométrie abondante. Il y avait une diversité d'animaux sauvages tels que les lions, les girafes, les hyènes, les éléphants, les biches, les singes, les Chacals.

Pour P2 : A l'installation du village

Il est apparu un faible changement par rapport à la situation précédente. On constate toujours une végétation dense, la présence de grands arbres, la pluviométrie abondante. L'existence d'animaux sauvages, comme les lions, les hyènes, les éléphants, les biches, les singes, les chacals, est toujours visible. Aux dires des participants au focus group, le fondateur du village Sabily YALCOUYE se serait installé en construisant une case. Puis, l'agrandissement du village commença avec l'installation des allochtones et l'accroissement des naissances.

Pour P3 : entre l'installation du village et la situation actuelle

Il eut un agrandissement progressif du village dû particulièrement à la croissance démographique. Il s'en est suivit une diminution importante des ressources végétales et animales notamment à cause du défrichement continu pour l'installation de nouveaux champs et habitations. Selon les participantes et participants au focus, il y a eu une coupe abusive de bois, une baisse de la pluviométrie d'années en années, ce qui a conduit à la disparition de certaines espèces animales et végétales.

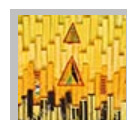
Pour P4 : la situation actuelle du village

Il est ressorti des débats une dégradation des ressources ligneuses suite aux actions de l'homme (coupe de bois, défrichement, etc.) et à la sécheresse. La disparition des grands arbres et de certains animaux sauvages est survenue. Les champs de cultures se sont multipliés et les pluies devenues rares.

3.1.2 Carte à dire d'acteurs de l'évolution des ressources du terroir du village de Goundoli-Dogon

La figure n°3 montre la représentation schématique des types de ressources dans le terroir de Goundoli-Dogon pendant les 4 périodes 1, 2, 3 et 4 séparées de gauche à droite et de haut en bas.

Au vu de la figure 3 issue du focus group de Goundoli-Dogon, il est apparu une grande similarité entre l'évolution des ressources de ce terroir et celle des ressources de Kédou de la période 1 à 4 à savoir la rareté croissante des pluies, des terres de cultures, de la faune et flore et l'accroissement de la population et du cheptel. Il convient de rappeler que les deux terroirs sont distants l'un de l'autre d'une douzaine de kilomètres. Aucun événement historique en rapport avec la fondation ou la vie du village sur les 4 périodes n'a été cité par le focus group. Les villageois ont évoqué seulement le nom de Dièné WALBANE comme fondateur du village. Aussi, ont-ils dit, la construction des premiers habitats n'a pas eu un impact significatif sur les ressources du terroir. Aux dires du focus group, la dégradation des ressources en général et la végétation ligneuse en particulier est due aux actions



anthropiques et à la sécheresse. Enfin, les participants au groupe de discussion ont fait cas du ruissellement des eaux ayant conduit à la formation d'un marigot qui traverse désormais le village.



Figure 3. Carte paysanne de l'état des ressources naturelles et de la population du terroir de Goundoli-Dogon aux quatre périodes.

3.1.3 Carte à dire d'acteurs de l'évolution des ressources du village du terroir de Kamba-Bandié

La figure n°4 montre pour le terroir de Kamba-Bandié la représentation schématique des types de ressources pendant les périodes 1 (avant l'installation du village), 2 (à l'installation du village), 3 (entre l'installation du village et la situation actuelle) et 4 (la situation actuelle).

P1 : Avant l'installation du village

Au gré de leur savoir, les participants et participantes au groupe de discussion de Kamba-Bandié ont mentionné dans la carte la présence de beaucoup d'arbres et un tapis herbacé abondant. Ils ont fait cas de l'abondance des pluies. Selon le groupe, vivaient à cette période dans leur terroir de grands mammifères comme les éléphants, les lions, les girafes.

P2 : A l'installation du village

Aux dires des participants au focus, peu de changement serait intervenu à 2 (à l'installation du village) comparé à 1 (avant installation). Les mêmes ressources d'avant l'installation du village seraient toujours présentes à son installation.

P3 : Entre l'installation du village et la situation actuelle

On assiste à un début de diminution du couvert végétal et de la faune, de même qu'à une présence marquée de la population humaine et de l'habitat.

P4 : Situation actuelle du village

Il est ressorti des déclarations du groupe de discussion une disparition des grands arbres et mammifères terrestres tels les éléphants, les lions. Les emblavures ont pris de l'importance en nombre et en superficie conséquemment à un accroissement plus marqué de la population qu'auparavant. L'augmentation du cheptel fut aussi évoquée ainsi que la coupe abusive des arbres suivie de l'érosion des sols.

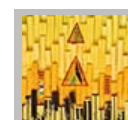


Figure 4 : Carte paysanne de l'état des ressources naturelles et de la population du terroir de Kamba-Bandié aux périodes 1, 2, 3 et 4.

3.1.4 Carte à dire d'acteurs de l'évolution des ressources du terroir villageois de Daga-Tireli

La figure n°5 représente schématiquement les types de ressources du terroir villageois de Daga-Tireli aux périodes 1, 2, 3 et 4.

Il est apparu une grande ressemblance entre les cartes de l'évolution des ressources au cours du temps dans le terroir villageois de Daga-Tireli et dans celui de Kamba-Bandié précédent. Cette similitude se traduit, aux dires du focus group, par la rareté voire la disparition des grands arbres et mammifères terrestres tels les éléphants, les lions. C'est aussi le cas de l'extension des emblavures, corolaire de l'accroissement de la population. Non moins importante est la coupe abusive de la



végétation suivie de l'érosion des sols selon les débats.

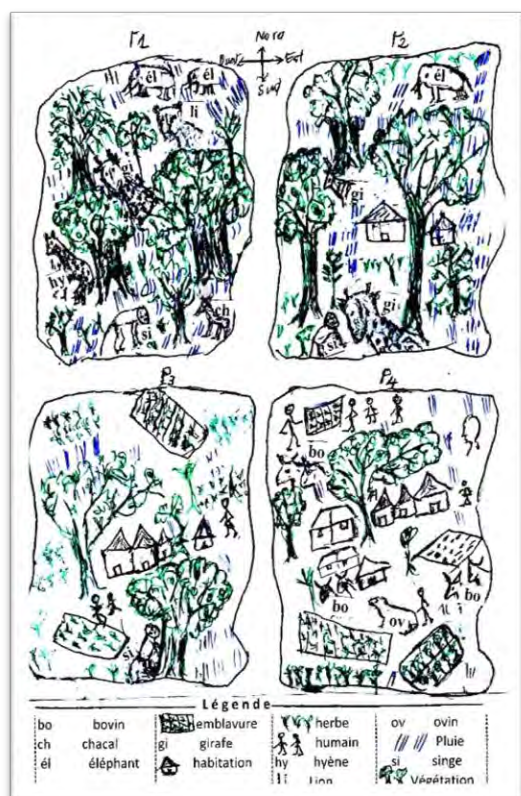


Figure 5 : Carte paysanne de l'état des ressources naturelles et de la population du terroir de Daga-Tireli aux périodes 1, 2, 3 et 4

3.2 L'évolution de la population des espèces ligneuses

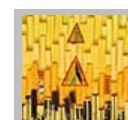
3.2.1 L'évolution de la population des espèces ligneuses du terroir de Kédou

Le tableau 2 donne la liste des espèces citées lors du focus group tenu au village de Kédou.

Il ressort du tableau 2 qu'une dizaine d'espèces était présente à P1 et P2 contre un maximum de cinq à P3 et P4. A ces deux dernières périodes, six espèces manquent au nombre desquelles figurent *V. paradoxa*, *T. indica* et *P. biglobosa*. Le focus group a déploré cette situation car, dit-il, ces espèces leur procurent nourriture, revenu et bois. Avant l'installation du village, la végétation du terroir villageois supposée par le focus group était dense avec une plus grande diversité d'espèces. La situation aurait peu changé à l'installation du village, car seul *Borassus aethiopium* y est absent. Après installation du village, la diminution progressive des espèces est perceptible. Il n'y a qu'un maximum de cinq espèces à P3 et P4. *Faidherbia albida* fait pour la première fois son apparition à P4. L'absence de *Vitellaria paradoxa* (karité) à P4 a été déplorée par les gens au focus qui ont martelé que l'espèce fournit la totalité de leur beurre consommée.

Tableau 2 : Liste des espèces mentionnées par le groupe de discussion de Kédou sur les quatre périodes P1, P2, P3 et P4.

Période	Nom scientifique	Nom Français	Nom Bamanan
(P1) Avant l'installation du village	<i>Adansonia digitata</i>	Baobab	Sira
	<i>Bombax costatum</i>	Kapokier	Bumu
	<i>Borassus aethiopium</i>	Rônier	Sébé
	<i>Ceiba pentandra</i>	Fromager	Banam
	<i>Daniellia oliveri</i>	Santan	Sana
	<i>Detarium microcarpum</i>	Detar sucré	N'Taba - coumba
	<i>Lannea microcarpa</i>	Raisinier	Npeku
	<i>Parkia biglobosa</i>	Néré	Nèrè
	<i>Sclerocarya birrea</i>	Prunier	Kunan
(P2) A l'installation du village	<i>Tamarindus indica</i>	Tamari- nier	Ntomi
	<i>Vitellaria paradoxa</i>	Karité	Sii
	<i>Adansonia digitata</i>	Baobab	Sira
	<i>Bombax costatum</i>	Kapokier	Bumu
	<i>Ceiba pentandra</i>	Fromager	Banam
	<i>Daniellia oliveri</i>	Santan	Sana
	<i>Detarium microcarpum</i>	Detar sucré	N'Taba -comba
(P3) Après l'installation du village	<i>Lannea microcarpa</i>	Raisinier	Npeku
	<i>Parkia biglobosa</i>	Néré	Nèrè
	<i>Faidherbia albida</i>	Faidherbia	Albida



	<i>Sclerocarya birrea</i>	Prunier	Kunan
	<i>Tamarindus indica</i>	Tamari- nier	Ntomi
	<i>Vitellaria paradoxa</i>	Karité	Sii
(P3) Entre l'instal- lation et l'état actuel	<i>Adansonia digitata</i>	Baobab	Sira
	<i>Borassus aethiopium</i>	Rônier	Sébé
	<i>Lannea microcarpa</i>	Raisinier	Npeku
	<i>Sclerocarya birrea</i>	Prunier	Kunan
(P4) L'état actuel	<i>Combretum glutinosum</i>	Chigom- mier	Tian- gara
	<i>Faidherbia albida</i>	Cad	Balan zan
	<i>Guiera senegalensis</i>	Giuer	Gundiè
	<i>Lannea microcarpa</i>	Raisinier	Npeku
	<i>Sclerocarya birrea</i>	Prunier	Kunan

3.2.2 L'évolution de la population des espèces ligneuses du terroir de Goundoli Dogon

Le tableau 3 donne les espèces ligneuses citées par le focus-group du village de Goundoli-Dogon.

A l'instar du terroir de Kédou, la végétation du terroir villageois de Goundoli Dogon présente à peu près les mêmes espèces aux quatre différentes périodes. Avant l'installation du village de Goundoli-Dogon, le nombre d'espèces est plus élevé que d'une espèce comparée à l'installation du village. Il s'agit de *B. aethiopium* qui est aussi absent à P2 de Kédou. Ici aussi à Goundoli-Dogon, *Faidherbia albida* ayant une grande importance agrosylvopastorale n'apparaît qu'à P4. C'est la preuve d'une anthropisation plus poussée du terroir comparativement aux périodes précédentes.

3.2.3 L'évolution de la population des espèces ligneuses du terroir de Kamba-Bandié

Le tableau 4 montre qu'avant et à l'installation du village de Kamba-Bandié, il y avait une douzaine d'espèces ligneuses dans le terroir. Il convient de

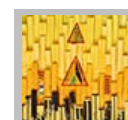
signaler que la présence mentionnée des espèces par le focus à P1 reste subjective en raison de l'absence de vie humaine avant l'installation du village. Cela vaut pour tous les villages. Entre l'installation du village et la période actuelle est survenue une diminution drastique du nombre des espèces : du double au simple. La situation actuelle comparée à P3 fait état d'une augmentation de trois espèces. A l'instar des 2 terroirs précédents, *F. albida* fait ici aussi son apparition à P4.

3.2.4 L'évolution de la population des espèces ligneuses du terroir villageois de Daga-Tireli

Le tableau 5 montre la présence d'un même nombre d'espèces avant et pendant l'installation du village. Après l'installation du village (P3), on assiste à une diminution nette en nombre de la population des espèces comparée à P1 et P2. A P3 et P4, l'absence de *P. biglobosa* et *V. paradoxa* est remarquable. On note à P4 presque le double en nombre d'espèces par rapport à P3. A P4, *F. albida* fait son apparition comme à l'accoutumée. Ici sont cités, contrairement aux trois terroirs précédents, *D. mespiliformis* et *B. aegyptiaca* qui sont des fruitiers forestiers.

Tableau 3. Liste des espèces selon le focus group de Goundoli-Dogon sur les quatre périodes

Période	Nom scientifique	Nom Français	Nom Bama- nan
(P1) Avant l'instal- lation du village	<i>Adansonia digitata</i>	Baobab	Sira
	<i>Bombax costatum</i>	Kapokier	Bumu
	<i>Borassus aethiopium</i>	Rônier	Sébé
	<i>Ceiba pentandra</i>	Fromager	Banam
	<i>Daniellia oliveri</i>	Santan	Sana
	<i>Detarium microcarpum</i>	Petit Détar	N'Taba - coumba
	<i>Lannea microcarpa</i>	Raisinier	Npeku
	<i>Parkia biglobosa</i>	Néré	Nèrè
	<i>Sclerocarya birrea</i>	Prunier	Kunan
	<i>Tamarindus indica</i>	Tamarini- er	Ntomi
	<i>Vitellaria paradoxa</i>	Karité	Sii
(P2) A l'instal- lation du village	<i>Adansonia digitata</i>	Baobab	Sira
	<i>Bombax costatum</i>	Kapokier	Bumu
	<i>Ceiba pentandra</i>	Fromager	Banam



	<i>Daniellia oliveri</i>	<i>Daniellia</i>	Sana
	<i>Detarium microcarpum</i>	Petit Ditakh	N'Taba - coumba
	<i>Lannea microcarpa</i>	Raisinier	Npeku
	<i>Parkia biglobosa</i>	Néré	Nèrè
	<i>Sclerocarya birrea</i>	prunier	Kunan
	<i>Tamarindus indica</i>	Tamarinier	Ntomi
	<i>Vitellaria paradoxa</i>	Karité	Si
(P3) Entre l'installation et l'état actuel	<i>Adansonia digitata</i>	Baobab	Sira
	<i>Borassus aethiopium</i>	Rônier	Sébè
	<i>Lannea microcarpa</i>	Raisinier	Npeku
	<i>Sclerocarya birrea</i>	Prunier	Kunan
(P4) L'état actuel	<i>Balanites aegyptiaca</i>	Dattier du désert	Zégè-nin
	<i>Combretum Micranthum</i>	Kinkéliba	Kinkéliba
	<i>Combretum glutinosum</i>	Chigom-mier	Tianga-ra
	<i>Faidherbia albida</i>	Cad	Balan-zan
	<i>Guiera senegalensis</i>	Giuer	Gundiè
	<i>Lannea microcarpa</i>	Raisinier	Npeku

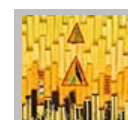
Tableau 4. Espèces ligneuses présentes dans le terroir de Kamba-Bandié selon le focus group pendant les quatre périodes.

Période	Nom scientifique	Nom Français	Nom Bamanan
(P1) Avant l'installation du village	<i>Adansonia digitata</i>	Baobab	Sira
	<i>Bombax costatum</i>	Kapokier	Bumu
	<i>Borassus aethiopium</i>	Rônier	Sébè
	<i>Ceiba pentandra</i>	Fromager	Bana
	<i>Daniellia oliveri</i>	Danielli	Sana
	<i>Lannea microcarpa</i>	Raisinier	Npeku
	<i>Parkia biglobosa</i>	Néré	Nèrè
	<i>Saba senegalensis</i>	Liane saba	Zaban

	<i>Sclerocarya birrea</i>	Prunier	Kunan
	<i>Sterculia setigera</i>	Platane	Kôgôsira ni
	<i>Tamarindus indica</i>	Tamarinier	Ntomi
(P2) A l'installation du village	<i>Vitellaria paradoxa</i>	Karité	Si
	<i>Adansonia digitata</i>	Baobab	Sira
	<i>Bombax costatum</i>	Kapokier	Bumu
	<i>Borassus aethiopium</i>	Rônier	Sébè
	<i>Ceiba pentandra</i>	Fromager	Bana
	<i>Daniellia oliveri</i>	Danielli	Sana
	<i>Detarium microcarpum</i>	Petit détart	N'Tabacoumba
	<i>Lannea microcarpa</i>	Raisinier	Npeku
	<i>Parkia biglobosa</i>	Néré	Nèrè
	<i>Saba senegalensis</i>	Liane saba	Zaban
(P3) Entre l'installation et l'état actuel	<i>Sclerocarya birrea</i>	Prunier	Kunan
	<i>Sterculia setigera</i>	Platane	Kôgôsira ni
	<i>Tamarindus indica</i>	Tamarinier	Ntomi
	<i>Vitellaria paradoxa</i>	Karité	Si
(P4) L'état actuel	<i>Adansonia digitata</i>	Baobab	Sira
	<i>Lannea microcarpa</i>	Raisinier	Npeku
	<i>Sclerocarya birrea</i>	Prunier	Kunan
	<i>Vitellaria paradoxa</i>	Karité	Si
	<i>Balanites aegyptiaca</i>	Dattier du désert	Zégènin
	<i>Combretum micranthum</i>	Kinkéliba	Kinkéliba

Tableau 5. Espèces ligneuses présentes dans le terroir de Daga-Tireli selon le focus group pendant les quatre périodes.

Période	Nom scientifique	Nom Français	Nom Bamanan
(P1) Avant l'installation	<i>Adansonia digitata</i>	Baobab	Sira
	<i>Bombax costatum</i>	Kapokier	Bumu



du village	<i>Borassus aethiopium</i>	Rônier	Sébé
	<i>Ceiba pentandra</i>	Fromager	Bana
	<i>Daniellia oliveri</i>	Daniellia	Sana
	<i>Detarium microcarpum</i>	Petit Détar	N'Taba - coumba
	<i>Lannea microcarpa</i>	Raisinier	Npeku
	<i>Parkia biglobosa</i>	Néré	Nèrè
	<i>Tamarindus indica</i>	Tamarinier	Ntomi
	<i>Sclerocarya birrea</i>	Prunier	Kunan
	<i>Vitellaria paradoxa</i>	Karité	Sii
(P2) A l'installation du village	<i>Adansonia digitata</i>	Baobab	Sira
	<i>Bombax costatum</i>	Kapokier	Bumu
	<i>Borassus aethiopium</i>	Rônier	Sébé
	<i>Ceiba pentandra</i>	Fromager	Bana
	<i>Daniellia oliveri</i>	Daniellia	Sana
	<i>Detarium microcarpum</i>	Petit Ditakh	N'Taba - coumba
	<i>Lannea microcarpa</i>	Raisinier	Npeku
	<i>Parkia biglobosa</i>	Néré	Nèrè
	<i>Sclerocarya birrea</i>	Prunier	Kunan
(P3) Entre l'installation et l'état actuel	<i>Tamarindus indica</i>	Tamarinier	Ntomi
	<i>Vitellaria paradoxa</i>	Karité	Sii
	<i>Adansonia digitata</i>	Baobab	Sira
	<i>Borassus aethiopium</i>	Rônier	Sébé
(P4) L'état actuel	<i>Lannea microcarpa</i>	Raisinier	Npeku
	<i>Sclerocarya birrea</i>	Prunier	Kunan
	<i>Balanites aegyptiaca</i>	Dattier du désert	Zégèni n
	<i>Combretum glutinosum</i>	Chigomier	Tianguara
	<i>Diospyros mespiliformis</i>	Ebenier d'Afrique	Sunsun
	<i>Faidherbia albida</i>	Cad	Balan-zan

3.3 Profil historique proprement-dit de l'évolution des ressources naturelles et de la population pour l'ensemble des terroirs de Kédou, Goundoli-Dogon, Kamba-Bandié et Daga-Tireli

La figure 6 donne l'évolution des ressources naturelles, de la population et son habitat, du cheptel sur l'ensemble des quatre terroirs. L'information rapportée par les cartes et listes (chapitres 3.1 et 3.2) se trouve ici corroborée. Il est apparu une évolution semblable de l'environnement dans les quatre terroirs. On a constaté une régression de la pluie, la faune, la végétation et une présence marquée du cheptel, de la population et ses activités de production ; cela, au vu de la densité variable des symboles utilisés dans la légende.

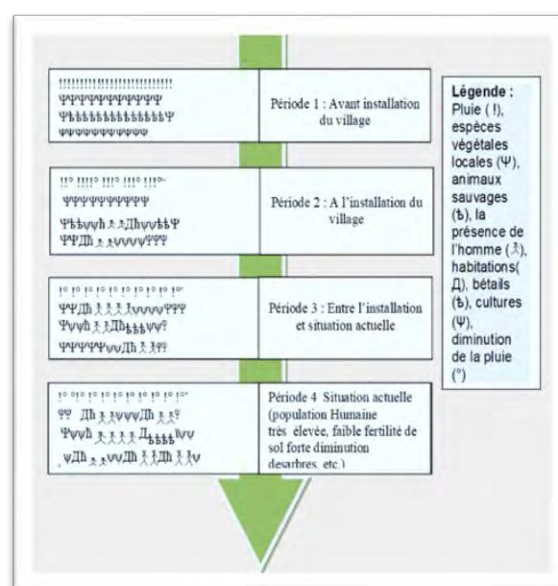


Figure 6 : Profil historique de l'évolution des ressources naturelles dans l'ensemble des quatre terroirs.

IV. DISCUSSION

4.1 Les cartes à dire d'acteurs

Il est apparu une nette diminution des ressources naturelles et de la population dans les figures 2, 3, 4 et 5, en allant de la période P1 (avant l'installation du village), à P4 (la situation actuelle) en passant par P2 (à l'installation du village) et P3 (entre l'installation du village et la situation actuelle). Cette situation s'explique sans doute par l'augmentation de la population, ce qui a entraîné l'anthropisation des terroirs. A cela s'ajoute la péjoration climatique. A l'instar de toute la zone sahélienne, on assiste depuis plusieurs décennies dans le Haut-Plateau-Dogon à une destruction quasi généralisée des ressources naturelles (sol, eau, végétation) consécutivement aux actions de l'homme et aux sécheresses [2]. La littérature rapporte la mise en œuvre de techniques



traditionnelles de conservation des eaux et des sols sur le plateau Dogon [5].

Même si les 4 terroirs à l'étude n'appartiennent pas à la même commune, il est apparu une grande similarité entre les quatre cartes au regard de l'évolution des ressources. Cette ressemblance constatée entre terroirs de recherche qui sont Kédou, Goundoli-Dogon, Kamba-Bandié et Daga-Tireli serait liée à l'appartenance de ces terroirs à la même zone agroécologique qui est le Haut-Plateau Dogon [4]. A cela, s'ajoutent les activités de production agrosylvopastorale qui sont partout les mêmes chez toute la population dogon habitant dans le Plateau.

4.2 L'évolution de la population des espèces ligneuses

D'entrée de jeu, il convient de signaler que la liste des espèces donnée par les groupes de discussion pour la période P1 dans les tableaux 2 à 5 est subjective car personne ne vivait là à cette époque. Un examen critique des tableaux révèle que les espèces citées par les groupes de discussion pour P2 et P3 et qui sont absentes au moins une fois dans l'un des P4 sont au nombre de douze. Ce sont *Adansonia digitata*, *Balanites aegyptiaca*, *Bombax costatum*, *Borassus aethiopicum*, *Ceiba pentandra*, *Daniellia oliveri*, *Detarium microcarpum*, *Parkia biglobosa*, *Saba senegalensis*, *Sterculia setigera*, *Tamarindus indica*, *Vitellaria paradoxa*. Ces espèces peuvent être considérées comme en voie de disparition. Or, plus de la moitié des douze donnent des fruits comestibles. Dans le Haut-Plateau-Dogon, la motivation des producteurs dans le maintien de *P. biglobosa* et *Tamarindus indica* est sous tendue par la satisfaction des besoins essentiels tel que la nourriture, le bois, l'acquisition de revenus [6]. Il est possible que peu de solutions soient à la disposition des paysans pour sauver lesdites espèces. Le cas du *Vitellaria paradoxa* est alarmant vu son utilité maintes fois évoquée lors des débats. La mortalité du karité révélée depuis trois décennies [7] serait d'actualité dans le Haut-Plateau-Dogon.

L'évolution semblable des ressources naturelles et de la population dans les quatre terroirs se justifie par le fait que ces terroirs appartiennent à la même zone agroécologique qui est le Haut-Plateau-Dogon [4]. De plus, tous les groupes ethniques vivant sur le plateau Dogon pratiquent l'agriculture et l'élevage. [8].

La présence accrue d'espèces du genre combrétacée et de *Faidherbia albida* à P4 dans les tableaux 2, 3, 4 et 5 est le signe d'une anthropisation des terroirs. *F. albida* est une espèce de grande importance agrosylvopastorale dont la présence révèle l'activité agricole [9, 10, 11]. Par rapport à la préservation de *F. albida* dans les champs, il est fait cas de savoir-faire traditionnel détenu par les habitants de Tyen-Markala et de Koungobougouwèrè, région de Ségou

au Mali [6]. La disparition de *Adansonia digitata* et de *Parkia biglobosa* est constatée dans le terroir de Niacongo, région de Mopti au Mali [3]. La disparition répétée de *B. aethiopicum* déclarée à l'installation des villages s'expliquerait par l'utilisation dans la construction de son bois très dur et imputrescible. La présence de *V. paradoxa* à P3 et P4 à Kamba-Bandié corrobore le propos selon lequel cette espèce suit le peuplement humain à l'instar de *F. albida* [9].

4.3 Profil historique proprement-dit de l'évolution des ressources naturelles et de la population pour l'ensemble des terroirs de Kédou, Goundoli-Dogon, Kamba-Bandié et Daga-Tireli

La diminution des ressources naturelles, l'augmentation de la population et de ses activités rapportées par le profil (figure 6) sont corroborées à travers les renseignements donnés par les cartes à dire d'acteurs. Le même profil confirme l'évolution des espèces ligneuses consignées dans les tableaux 2, 3, 4 et 5 ; les causes ayant été toujours la sécheresse et l'action de l'homme aux dires des populations. Tout cela représente une analyse participative de la vulnérabilité au changement climatique [13] et de société. Il est souvent fait cas dans la littérature des actions anthropiques et de la dégradation climatique comme causes de la destruction de la végétation en zone soudano-sahélienne.

V. CONCLUSION

Les cartes des terroirs tracées par les participants et participantes aux différents « focus group » ont donné une bonne idée des perceptions que ceux-ci ont de l'état de leurs ressources au cours du temps. La diminution des peuplements d'arbres et d'arbustes, du tapis herbacé, des pluies, l'augmentation de la population et l'extension des emblavures sont mieux connues aujourd'hui des populations des villages de Kédou, Goundoli-Dogon, Kamba-Bandié et de Daga-Tireli situés dans le plateau-Dogon. Ces populations ont perçu la diminution voire la disparition d'un nombre important d'espèces ligneuses utilitaires telles *Parkia biglobosa*, *Tamarindus indica*, *Vitellaria paradoxa*. Au regard de l'importance du parc agroforestier et de sa vulnérabilité au changement climatique en cours, des recherches de même genre devraient être faites dans d'autres villages de la zone soudano-sahélienne.

REMERCIEMENTS

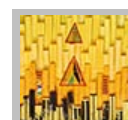
Nous remercions les habitants des villages de Kédou, Goundoli-Dogon, Kamba-Bandié et Daga-Tireli, leurs chefs d'UPA. Merci à Korka Lougué, Directeur Exécutif de l'ONG Harmonie pour le Développement au Sahel-Bandiagara, à Ambara Timbeli et Hamadoun Karembé enquêteurs. Cette recherche a bénéficié du soutien financier du Fonds



Compétitif pour la Recherche et l'Innovation Technologique à travers le Centre National de Recherche Scientifique et Technologique, Mali.

RÉFÉRENCES

- [1] ONG Harmonie pour le Développement au Sahel-Bandiagara, La régénération naturelle assistée (RNA), une voie sûre, efficace et efficace pour restaurer la flore au Plateau Dogon. 2017. <https://www.Hdsmali.org> (Accès en février 2017).
- [2] Samaké O., Dakouo J. M., Kalinganire A., Bayala J. et Koné B. Régénération naturelle assistée – Gestion des arbres champêtres au Sahel. ICRAF Technical Manual No. 16. Nairobi. World Agroforestry Centre, 2011.
- [3] Coulibaly K., Yossi H. Perceptions par les populations de la structure et de la dynamique du parc agroforestier : Cas des villages de Niacongo et de Ficko dans la région de Mopti au Mali. Les Cahiers de l'Economie Rurale 4, 2006, pp. 60-70.
- [4] PIRT. Zonage agroécologique du Mali. Volume I, II, III. Projet Inventaire des Ressources Terrestres (PIRT), Direction Nationale des Eaux et Forêts (DNEF), Bamako, Mali, 1986.
- [5] Kassogué A., Dolo J., et Ponsioen T. Les techniques de conservation des eaux et des sols sur le plateau Dogon. International Institut for Environment and Development. Dossier n°23. London, England, 1990.
- [6] Coulibaly K., Timbely D., Sanogo S., Maïga Y. A., Kouyaté M. A., Yossi H., N'Diaye I. 2018. Motivations paysannes associées au maintien de *Lannea microcarpa* Engl., *Parkia biglobosa* Jacq., *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst, *Tamarindus indica* L. et *Vitex doniana* Sweet dans des terroirs de la région de Mopti au Mali. Institut des sciences humaines. Revue semestrielle 85. Etudes Maliennes, 2018, pp.134 – 143.
- [7] Traoré, M. L. et Yossi, H. Actions thématiques sur la mortalité du karité (*Butyrospermum paradoxum*) dans la région de Ségou. Rapport d'étude INRZFH/DRFH, Sotuba, Bamako, Mali, 78 p. 1988.
- [8] Conseil de Cercle de Bandiagara. Programme de Développement Economique Social et Culturel de Bandiagara 2010 – 2014. Bandiagara, Région de Mopti. Mali. 58 p. 2011.
- [9] Raison, J-P. Les parcs en Afrique. Centre d'études africaines, Institut Royal des Tropiques, Amsterdam, Pays-Bas, 117 p. 1988.
- [10] Depommier, D. Production fruitière et devenir des semences de *Faidherbia albida*. La part des insectes spermatophages et du bétail dans la régénération de l'espèce dans le parc de Watinoma, Burkina Faso. In : Les parcs agroforestiers des zones semi-arides d'Afrique de l'Ouest. Édité par Bonkougou, E.G., Ayuk, E.T. et Zoungrana, I. Centre International pour la Recherche en Agroforesterie (ICRAF), Nairobi, Kenya. 1997. pp. 129-147.
- [11] Boffa J.-M. Les parcs agroforestiers en Afrique subsaharienne. Cahier FAO Conservation 34. FAO, Rome, Italie, 258 p. 2000.
- [12] Coulibaly K., Pineau M., Olivier A. La régénération du parc à *Faidherbia albida* dans le Moyen-Bani-Niger : savoirs et savoir-faire des paysans. Volume 8, Revue malienne de science et de technologie. 2006, pp. 18 – 33.
- [13] Boureima M., Abasse A.T., Sotelo Montes C., Weber J.C., Katkoré B., Mounkoro B., Dakouo J-M., Samaké O., Sigué H., Bationo B.A., Diallo B.O. Analyse participative de la vulnérabilité et de l'adaptation aux changements climatiques : un guide méthodologique. Occasional Paper 19. Nairobi. World Agroforestry Centre, 2012.



Effets de l'orpaillage sur l'évolution de l'occupation des terres au Mali dans la commune rurale de Minidian/village de Dabalé

Dembélé I C^{1*}, Dicko G¹, Ballo M², Bengaly A¹ et Touré M¹

¹Institut Polytechnique Rural de Formation et Recherche Appliquée de Katibougou

²Laboratoire d'écologie, Département de biologie, USTTB – Bamako

* Corresponding author's email address: banetoure66@yahoo.fr

RESUME: L'orpaillage est une activité traditionnelle d'extraction minière très développée au Mali. Cependant l'extraction et le traitement des minerais déterminent la durabilité des activités agricoles à travers l'évolution de l'environnement. La présente étude vise à analyser les impacts des activités de l'orpaillage sur l'environnement dans les zones aurifères au Mali dans la région de Koulikoro. Pour ce faire, un traitement d'images de 2000 et de 2019 a été effectué afin d'évaluer l'évolution de l'occupation des terres. Ce traitement a été couplé avec la visite de terrain. La visite de terrain a permis d'enquêter les populations sur l'Agriculture (sous-secteurs agricole, forestier, élevage), la pollution engendrée sur (l'air, l'eau et le sol), les impacts environnementaux. Le traitement des données nous présente une progression et une régression des unités d'occupation des sols. L'analyse des données montre que les zones d'orpaillage, des agglomérations, des plans d'eau, des sols nus et des cultures sont en progression avec des rythmes respectifs en hectares de 38,35; 656,72; 105,07; 476,8; 9575,6 et en pourcentage d'évolution de 100; 149,83; 6,54; 90,56; 102,03 alors que les savanes boisées sont en régression avec un rythme en hectares de 727,99 et en pourcentage de 12,04.

Mots clés : impact, orpaillage, occupation des terres, Mali

I. INTRODUCTION

Dans de nombreux pays en développement, tout comme au Mali, la recherche de la sécurité alimentaire est une réelle priorité pour les autorités [1]. La protection de l'environnement et le développement durable sont aussi au cœur de la problématique de développement au Mali. C'est la raison pour laquelle la constitution du 25 février 1992 stipule en son article 15 « Toute personne a droit à un environnement sain ». La protection, la restauration de l'environnement et la promotion de la qualité de vie sont des devoirs qui incombent individuellement à tous et à l'Etat.

L'orpaillage étant strictement lié à la production agricole, dans la mesure où les revenus de cette activité permettent d'amortir les pertes d'une mauvaise récolte et d'assurer le paiement des crédits octroyés en fin d'hivernage [2].

Les zones d'orpaillage du Mali, situées dans les régions de Kayes, Koulikoro et Sikasso, ont donc connu un afflux de personnes qui voulaient désormais entreprendre une nouvelle activité réputée rapporter des gains considérables en peu de temps [3]. L'étude proprement dite a concerné le village de Dabalé (cercle de Kangaba, région de Koulikoro). L'agriculture et l'élevage exercés par les jeunes et les femmes sont les principales sources de revenus des populations de cette localité.

Le développement de l'orpaillage artisanal, principalement informel, est souvent critiqué et

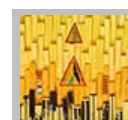
implique diverses inquiétudes par rapport à sa pérennité dans le temps et dans l'espace. Sur le plan environnemental, l'usage non contrôlé de plusieurs substances chimiques comme le mercure et le cyanure entraîne la pollution des eaux (surface et souterraine), la dégradation des forêts liée à l'activité, celle des sols et la pollution de l'air [4].

De nombreux problèmes sanitaires liés aux activités quotidiennes et à l'état de l'environnement sont associés à l'orpaillage, notamment lorsque cette dernière est pratiquée de façon informelle où les ressources matérielles et techniques sont généralement limitées.

L'orpaillage est un sujet à controverse qui ne laisse personne indifférent, si pour les uns il est source de nuisance, pour les autres, il représente un moyen de lutte contre la pauvreté. Dans le cercle de Kangaba l'orpaillage est une source principale de revenus pour de nombreux ruraux vivant dans une grande précarité économique, c'est une activité très peu ou pas encadrée par les services techniques concernés.

Cependant l'une des questions qui soulèvent le plus d'inquiétude à propos de l'orpaillage est son impact négatif sur l'environnement réduisant certainement l'aire d'évolution de la biodiversité.

La présente recherche met en évidence les enjeux environnementaux de l'orpaillage qui sont de plus en plus reconnus et invitent à des réflexions inclusives. D'où le thème « effets de l'Orpaillage sur



l'évolution de l'occupation des terres au Mali dans la commune rurale de Minidian/village de Dabalé ».

II. MILIEU D'ETUDE

La présente étude a été réalisée dans le cercle de Kangaba, région de Koulikoro au Mali qui est une zone de production artisanale de l'or. Et le village de Dabalé a été retenu dans la commune de Minidian en raison de la présence d'au moins un site d'orpaillage actif et de son accès facile. La figure 1 représente la localisation du site d'étude.

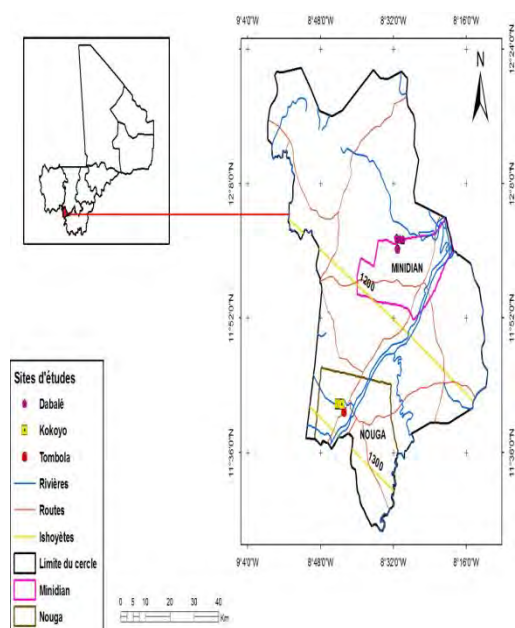


Figure 1: Localisation du site de Dabalé

III. MATERIELS ET METHODES

3.1 Matériel

Le matériel utilisé était le suivant : sachets plastiques, bidons d'eau, tarière, feutre, cahiers, GPS, couteau de pédologue, logiciels Excel, Word, SPSS et R.

3.2 Méthodes

La méthodologie de l'étude a consisté à effectuer une revue documentaire, à faire un échantillonnage sur une population donnée, à réaliser des entretiens avec les personnes ressources à travers des guides d'entretien et des questionnaires, à faire des prélèvements d'échantillons de sol et d'eau en vue de collecter les données primaires.

- Revue documentaire a consisté à collecter les données secondaires dans les documents de la Direction Nationale de la Géologie et des Mines (DNGM), dans les anciens rapports, articles et mémoires des étudiants, l'internet et tous autres documents en lien avec l'orpaillage artisanal.

- Des entretiens ont été réalisés auprès des responsables des différents villages couverts par l'étude tels que les tonbolomas (équipe de maintien

de l'ordre entre les exploitants), les chefs de villages, les conseillers, le maire et le préfet. Les questions du guide d'entretien ont essentiellement porté sur l'impact de l'orpaillage sur l'environnement.

- Au sein des villages, les ménages ont été choisis selon les critères suivants : être un résident sur le site, avoir une ou des activités sur le site. Pour l'échantillonnage, 30 ménages ont été choisis. Ainsi, les informations nécessaires à l'étude ont été obtenues avec un échantillon représentatif de petite taille (30 ménages).

- Les échantillons de sol ont été prélevés à l'aide d'une tarière près des puits d'orpaillage et des cours d'eau. Ces prélèvements ont été envoyés au laboratoire pour analyse dans le but de définir la présence ou non de produits chimiques dans les échantillons de sol.

Des analyses descriptives ont été utilisées et les données collectées ont été saisies, traitées et analysées avec Excel, Word, SPSS et le logiciel R dans cette étude.

IV. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 Résultats des effets de l'orpaillage sur l'environnement (enquêtes)

Les risques auxquels sont confrontés les ménages sont multiples et variés. C'est ainsi que pour comprendre la perception de la population sur les impacts environnementaux de l'orpaillage certains aspects ont été utilisés. Ces aspects sont entre autre la pollution de l'air et des eaux, la déforestation et la dégradation des sols qui confirment les données de [5].

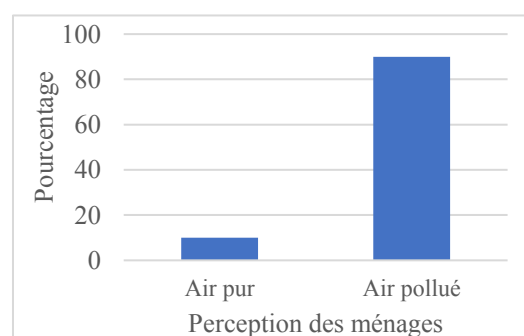


Figure 2 : Perception des ménages sur la pollution de l'air

L'analyse des résultats de la figure 2 montre que 90% des personnes enquêtées soutiennent que l'air est pollué et qu'il n'y a pas de mesure de mitigation contre seulement 10% pour l'air pur. Dans les puits d'extraction traditionnelle les mesures de protection corporelle, nasale, visuelle et auditive sont minimales. En effet les risques sanitaires liés à la pollution de l'air sont élevés [5]. La pollution de



l'air est généralement causée par l'utilisation des engins (autos, motos et tricycles) pour les déplacements. et ces engins dégagent beaucoup de poussière et de gaz d'échappement qui polluent l'air, et les bruits des moteurs qui provoquent des nuisances acoustiques.

Tous ces risques liés aux différentes activités d'orpaillage sont à la base de plusieurs maladies, de blessures graves et de décès. L'usage de produits chimiques et la coupe abusive d'arbres sont aussi des sources de pollution de l'air et des nappes phréatiques.

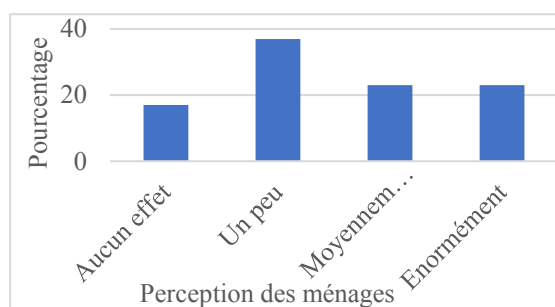


Figure 3: Perception des ménages sur la pollution des eaux

L'analyse de la figure 3 révèle que l'orpaillage artisanal provoque la pollution des eaux. Plus de 80% (23% d'effet énorme et moyen, 37% de peu d'effet) des ménages ont soutenu cette affirmation au total contre 17%. Le lessivage de la cuirasse, l'utilisation des produits chimiques (mercure et le cyanure) influencent négativement les sources d'eau. Ces produits occasionnent la dispersion des métaux lourds dans les cours d'eau et ils peuvent entraîner la contamination des eaux souterraines par infiltration.

Ces résultats corroborent avec ceux de [6], qui ont confirmé que l'extraction et le lavage du gravier causent le bouleversement du site qui engendre un changement de la dynamique du cours d'eau, sa turbidité qui elle-même impacte les nutriments nécessaires aux poissons et aux autres espèces aquatiques. Et les auteurs [7] réitèrent que divers constats font état d'un accroissement des empoisonnements liés aux substances chimiques telles que le mercure et le cyanure.

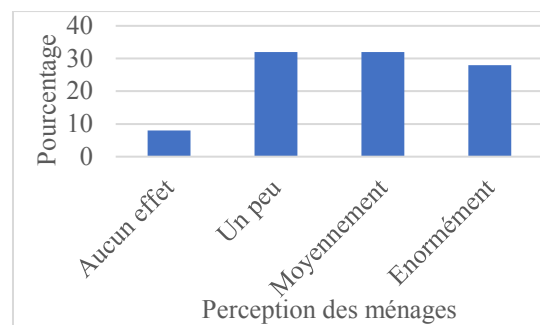


Figure 4: Perception des ménages sur la déforestation

L'analyse de la figure 4 montre que l'orpaillage artisanal accentue la déforestation. En effet, la presque totalité des ménages a soutenu cette affirmation soit au total 92% (28% d'effet énorme, 32% d'effet moyen et de peu) contre seulement 8% qui l'ont infirmé. Le creusement de puits et de tranchées contribue au déboisement et à la destruction du couvert végétal [8].

Les ressources forestières telles que les bois sont nécessaires à l'activité extractive (soutènement des galeries, confection d'échelle), et la satisfaction des besoins courants sur les sites (bois d'œuvre pour la construction d'habitats, production de charbon, bois de chauffe), les miniers procèdent à des abattages incontrôlés de toutes les espèces.

Nos résultats permettent d'étayer ceux de [8] lorsqu'il a affirmé que l'extraction artisanale réduit la superficie forestière en qualité et en quantité et qu'elle altère la structure spatiale des paysages à travers le processus de fragmentation. La dégradation des forêts, quoique temporelle, a plusieurs conséquences sur la forêt. Elle peut induire l'ouverture de la canopée, la perte de la biodiversité, la modification de la structure verticale ou le changement vers d'autres attributs.

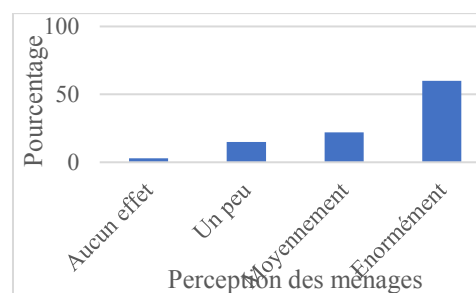


Figure 5: Perception des ménages sur la dégradation des sols

L'analyse de la figure 5 révèle que la quasi-totalité des ménages 97% affirme que l'orpaillage artisanal est à la base de la dégradation des sols. Les 97% se partagent en 60% d'effet énorme, 22% de moyen et 15% de peu. Les 3% restant ont affirmé que l'orpaillage n'a aucun effet sur les sols.



L'impact direct et physique de l'extraction minière artisanale est très visible lorsqu'on s'approche des sites miniers. L'attention du visiteur est attiré par l'énormité des trous remplis d'eau de pluie et de feuilles mortes car n'étant pas remblayés. Cela provoque des accidents tels que les chutes d'animaux de toutes espèces confondues.

Les résultats des figures 2, 3, 4 et 5 montrent la perception des ménages sur l'impact des activités de l'orpaillage sur l'environnement. Les pollutions peuvent être aussi des causes de maladies. Du moment où la pollution de l'air, la pollution des eaux, la dégradation des forêts, des sols et l'utilisation incontrôlée des produits chimiques sont des aspects qui ont une influence sur l'environnement.

Ces résultats corroborent avec ceux de [9] qui ont montré que les moyens de subsistance de millions d'individus, dans les pays en développement dépendent de l'extraction minière artisanale. Cette richesse peut cependant coûter cher. De nombreux problèmes sanitaires liés au travail et à l'environnement sont associés à l'exploitation minière artisanale, notamment lorsque cette dernière est pratiquée de façon informelle ou au moyen de ressources matérielles et techniques limitées. La santé et le bien-être des miniers, des membres de leur famille et des communautés avoisinantes sont souvent affectés.

4.2 Occupation de terres de 2000 à 2019

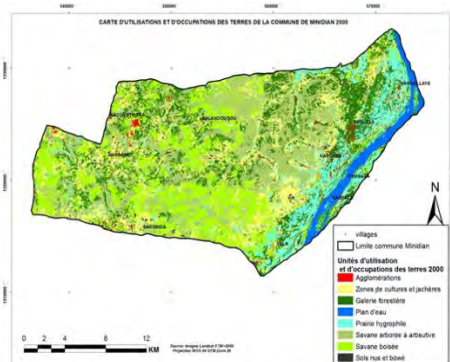


Figure 6: Occupation des terres en 2000

Le terroir de la commune de Minidian entre 2000 et 2019 (figure 6, 7 et 8) présente une progression des sites d'orpaillage, des agglomérations des zones de cultures, du plan d'eau et des sols nus et une régression de la galerie forestière, des prairies, de la savane boisée et de la savane arborée à arbustive. Ces résultats confirment ceux de [10] et [11].

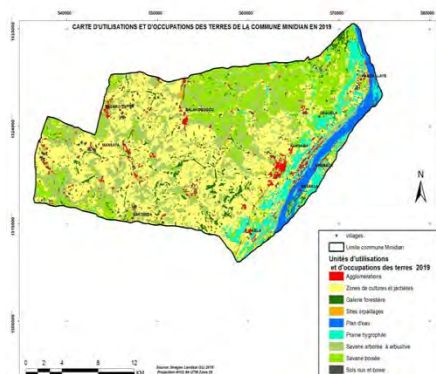


Figure 7: Carte d'occupation des terres en 2019

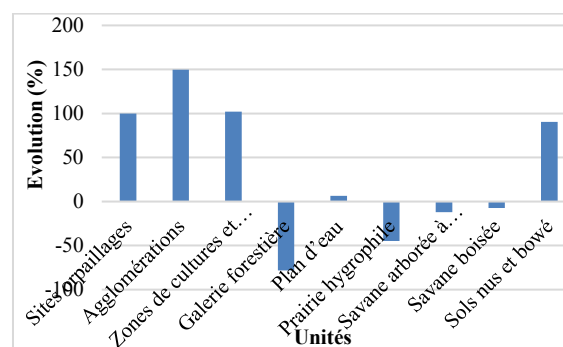


Figure 8: Evolution des unités d'occupation des terres

4.3 Caractéristiques chimiques des sols du site d'étude

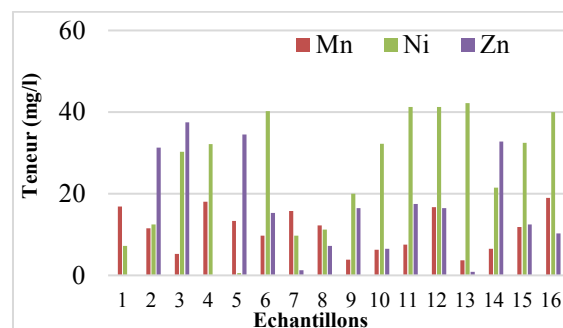


Figure 9: Teneurs des métaux lourds dans les sols

L'analyse des échantillons de sol prélevés sur le site de Dabalé a prouvé que les sols contiennent des éléments « trace métalliques » du nickel (6,5 à 42,52 mg/l), du manganèse (2,01 à 19,25 mg/l) et zinc (5,4 à 31 mg/l) (figure 9). La présence de ces métaux serait liée à la nature géologique du sol et non aux activités d'extraction minière. Les autres éléments « trace métalliques » (plomb, cadmium, cuivre, cyanure, mercure, arsénite) sont en quantité moindre par rapport aux valeurs limites de leurs seuils de détection.

V. CONCLUSION

Au niveau de la zone d'étude, la perception des ménages a montré que les activités de l'orpaillage impactent l'environnement à travers la pollution de



l'air, de l'eau, du sol et la végétation à des degrés différents. L'analyse diachronique et l'interprétation de l'occupation des terres de 2000 à 2019 présentent une progression des sites d'orpaillage, des agglomérations des zones de cultures, du plan d'eau et des sols nus et une régression de la galerie forestière, des prairies, de la savane boisée et de la savane arborée à arbustive. Les résultats ont aussi montrés que les activités d'orpaillage entraînent plus la dégradation physique des sols à travers les galeries et les dépôts des produits de décapage. Cependant la dégradation des sols n'a pas été observé au voisinage des sites malgré les traces de métaux lourds qui probablement d'origine minéralogique.

REMERCIEMENTS

Ce document a été obtenu grâce à la collaboration et au partenariat tissés entre l'Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA), la communauté de Minidian et la Formation Agricole pour la Sécurité Alimentaire au Mali (FASAM) avec l'appui financier de l'Affaire Mondiale Canada (AMC). Ainsi c'est un devoir pour nous d'exprimer nos sincères remerciements et gratitude à tous et à toutes qui ont créé des conditions favorables pour l'aboutissement de ce travail.

REFERENCES

- [1] DIAKITE & al. 2018, Seed Production and Technical Efficiency of Sorghum Farmers in Mali, Journal of Agriculture and Environmental Sciences ISSN: 2334-2404;V 7, N 1pp66-75
- [2] PANELLA C & al. 2005, << Je vais chercher le prix de condiments>>. Rapport de genre, économie domestique et symbole de l'or de Yemasu (Vallée du Sankarani, Mali) ; ISIAO Anno 60, N ¾ page 426-443
- [3] KEITA A. 2017, Orpaillage et accès aux ressources naturelles et foncières au Mali, 29p.
- [4] OUEDRAOGO A. H., 2006. Impact de l'exploitation artisanale de l'or (orpaillage) sur la santé et l'environnement. Gestion des substances toxiques, Portail Afrique de l'Ouest. <http://www.mediatorre.org/afrique-ouest/actu,20061121095625.html>
- [5] ANDRIAMASINORO F, ANGEL J.M., 2012. Artisanal small-scale gold mining in Burkina Faso: suggestion of multi-agent methodology as a complementary support in elaborating a policy. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resourpol.2012.04.004> Andriamasinoro et al, 2012
- [6] BONTEMS et al. 2010, Economie de l'environnement, éditée par la Découverte.
- [7] TOMICIC, et al (2011). Human mercury exposure associated with small-scale gold mining in Burkina Faso. International archives of occupational and environmental health, 539–546 pages
- [8] NOSS R.F, 1999, A citizen's guide to Ecosystems Management, Boulder, Biodiversity Legal Foundation.
- [9] O'Neill, J. D. et Telmer, K. (2017). Estimer l'utilisation du mercure et identifier les pratiques de l'extraction minière artisanale et à petite échelle de l'or (Exploitation Minière Artisanale à Petite Echelle). Genève, Suisse: ONU-Environnement. ISBN 978-1-7752254-2-3. Page 1-3.
- [10] MARADAN D., OUEDRAOGO B., THIOMBIANO T., ZEIN K., 2011. Analyse économique du secteur des mines liens pauvreté et environnement. sba-Ecosys-CEDRES. Rapport MECV Burkina Faso- mai 2011, 69p.
- [11] SISSOKO, M.F.S. (2019). Double nationalité sur l'orpaillage traditionnel au Mali. Revue Africaine Des Sciences Sociales Et De La Santé Publique, 1 (2), 101-115.



Accès au crédit agricole des zones cotonnières du Mali : fonctions et garanties des organisations paysannes

Adama Berthé¹, Mahamadou Moussa Keita^{1*} and Maimouna Touré¹

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

*E-mail de l'auteur correspondant : mahamadou77@yahoo.fr

RESUME : L'accès aux crédits agricoles est l'un des problèmes le plus crucial des producteurs en Afrique de l'Ouest, particulièrement au Mali. L'accessibilité restreinte est liée à la fonction d'endettement, au taux d'intérêt et à la capacité de remboursement des organisations paysannes. C'est dans ce contexte que cette étude a été conduite afin d'identifier les fonctions de crédits et prêts qui s'offre aux organisations paysannes de la zone de Koutiala. Cela permet de prendre des décisions éclairées pour le développement durable des organisations paysannes de la région. La méthodologie s'est portée sur interview semi-structurée avec les différents acteurs des exploitations. Le guide d'entretien a été utilisé comme outil de collecte des données sur la perception des producteurs. Cette étude a révélé que les fonctions agricoles de crédits, vulgarisations, commerciales et de gestions sont liées à la capacité d'endettement des organisations paysannes, des garanties morales basées sur la caution solidaire et de la solvabilité techniques. L'étude recommande la formation des organisations paysannes au diagnostic institutionnel et organisationnel pour les doter d'un plan stratégique assorti de vision de développement durable.

Mots-Clés : crédit-agricole, organisation, paysan, Koutiala, Mali

I. INTRODUCTION

Il ne saurait y avoir de désengagement de l'État sans transfert des responsabilités. Nous verrons comment, sur le plan institutionnel, l'État malien, les organismes et les projets de développement se préparent activement. Il convient de s'interroger sur les conditions-cadres de la réussite de ces transferts, et, en particulier, sur le rôle des organisations paysannes dans le processus du développement rural au Mali. [1] ont rapporté que approche classique de réceptionnaires a montré ses limites au Mali. L'une des finalités majeures de ce transfert est de produire un meilleur développement socio-économique du monde rural malien.

L'étude a distinguée quatre fonctions ou responsabilités de l'État faisant présentement l'objet d'un transfert aux organisations paysannes. Pour chaque fonction, les tâches ou activités principales à réaliser par les paysans ont été précisées. L'étude a évaluée les OP de la Filiale - Sud SA en répertoriant les responsabilités ou fonctions suivantes : Crédit Agricole ; vulgarisation agricole ; commercialisation (coton graine) et gestion ou organisation du monde rural [2].

La plupart des réussites enregistrées jusqu'ici dans le domaine du développement rural ont eu un impact sur les territoires, montrant un niveau élevé d'adaptation locale des acteurs. En outre, cet impact a été limité par la fragilité ou la méconnaissance des liens avec les autres niveaux de prise de décision. Le développement du monde rural pourrait être réussi par une participation active à différents niveaux des

intervenants du monde rural à leur propre développement [2].

Le défi majeur consisterait à instaurer un dialogue permanent pour développer de façon équitable l'ensemble de la collectivité grâce à des dispositifs de coopération, de compréhension mutuelle et de coordination entre les différentes catégories de parties prenantes. On s'achemine vers une conception qui fait du développement en partenariat une science complexe, alliant connaissance scientifique et pensée philosophique [3,4].

Le développement durable des organisations paysannes passe par le partage d'une partie des prérogatives que l'État détient sur la conception et la mise en œuvre des politiques de développement rural. L'État est aussi arbitre et doit mettre en place un cadre juridique favorable au développement des OP ; élaborer la politique macro-économique et budgétaire qui permettra d'accroître durablement les ressources financières des OP et veiller à des relations d'équilibres entre les OP et les entreprises privées

L'objectif de la présente recherche est de contribuer au développement du monde rural en proposant aux acteurs de meilleures stratégies afin de dégager des solutions aux contraintes liées aux responsabilités de l'État transférées aux organisations paysannes. Pour ce faire, nous avons principalement eu recours aux discours issus des entretiens semi-structurés. Ces discours ont porté sur la problématique de fonctions des crédits agricoles comme responsabilités de l'État transférées aux organisations paysannes [4].



II. METHODOLOGIE

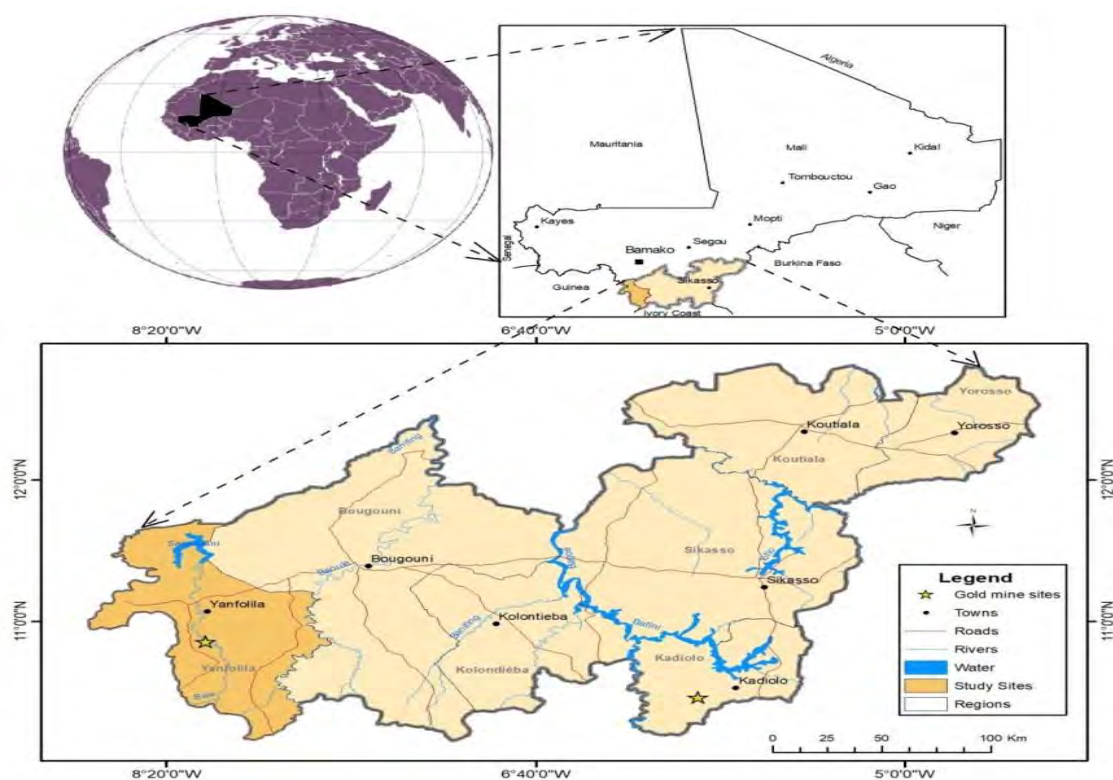
2.1 Milieu de l'étude

La région de Sikasso est située dans la partie sud du Mali et qui est la 3ème région administrative du pays. Elle est limitée au nord par la région de Ségou, la Côte d'Ivoire au sud, la Guinée à l'ouest, le Burkina Faso à l'est et la région de Koulikoro au nord-ouest. La région de Sikasso couvre une superficie de 71,790 km² représentant ainsi 3,8% du territoire national. La région compte 7 cercles incluant Sikasso, Bougouni, Kadiolo, Kolondieba, Koutiala, Yanfolila et Yorosso. La région a en son sein 3 communes urbaines, 144 communes rurales et 1,831 village [5,6].

Les principales activités économiques des communautés sont axées sur la production du coton, céréale sèche, maraichère, animale, pêche, agroforestière et commerce. Ces productions agricoles sont caractérisées par un système d'agriculture familiale de faibles revenus. La

production de subsistance se résume à la culture du Maïs, Sorgho et Mile. Quant à la production commerciale, elle est dominée par la culture du coton, arachide, patate douce, manioc, tomate et pomme de terre. La production animale est essentiellement extensive avec quelques poches de production semi-intensive étalée dans la région. Cette production se réfère aux animaux comme bœufs de labour, chèvres, moutons, ânes et volaille [5].

L'agroforesterie est en son sein, à la fois des plantes indigènes et exotiques. On peut cependant noter la présence de *Vitellaria paradoxa*, *Parkia biglobosa*, *Adansonia digitata*, *Azelia africana*, *Khaya senegalensis* et *Prosopis africana* pour des fins alimentaires, médicinales et de bois précieux. Les plantes comme *Citrus sinensis*, *Citrus aurantium*, *Mangifera indica*, *Carica papaya* et *Tereticornis globulus* sont aussi cultivées pour la production des fruits et de bois dans la région [7].



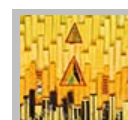
Source : (Keita *et al.*, 2018b) [7].

Figure 1 : Carte de la région de Sikasso et sa localisation au Mali

2.2 Matériels de collecte des données

Les outils de collecte ont porté essentiellement sur le guide d'entretien semi-structure, le plan de développement social, économique et culturel (PDSEC), la carte référentielle de la région de Sikasso. Les rapports des coopératives, services techniques agricoles et ONG ont été utilisés pour les

données secondaires. Le guide d'entretien a été administré auprès des producteurs, personnes ressources, services d'encadrement agricole et membres des coopératives. Dans la zone, l'étude a été conduite avec l'appui de l'agent (C/ZPA) CMDT au niveau village.



2.3 Méthode et approche de recherche

La méthode concernait la définition des termes et concepts, les limites du champ d'étude, le type de recherche, la sélection et description de la population, les outils et méthodes appropriés pour la collecte de données. Il a été aussi question d'analyse, traitement et interprétation des données collectées sur le terrain. L'approche de la recherche était participative et communautaires. L'étude a utilisé les données qualitatives pour appréhender l'ensemble des situations existantes. La recherche qualitative, par définition, « produit et analyse des données descriptives, telles que les paroles écrites ou dites et les comportements observables des personnes » [8].

Dans l'approche qualitative, nous partons d'une situation concrète comportant un phénomène particulier qu'on ambitionne de comprendre, de prouver ou de contrôler. La recherche qualitative se prête bien à l'étude des phénomènes complexes et sa souplesse fait sa force. Les entretiens étaient le plus ouvert possible entre l'enquêteur et les acteurs impliqués dans le développement du monde rural [8].

2.4 Technique échantillonnage

Les échantillons constitués concernent les différents types d'acteurs identifiés dans la zone. La constitution de ces échantillons s'est faite sur la base de choix raisonné tenant compte à la fois l'objectif de l'étude et des préoccupations de fonctionnalité, d'efficacité des acteurs. Par ailleurs, les OP ont été tirées au hasard ou méthode aléatoire. Ainsi ont été pris en compte : trente une (31) organisations paysannes ; vingt-six (26) responsables d'organisations paysannes ; trente-neuf (39) membres d'organisations paysannes non responsables ; treize (13) chefs de zone de production agricole (C/ZPA) de la CMDT ; un (01) projet de gestion rurale (PGR) érigé en union régionale des centres de gestion rurale ; deux (02) institutions financières (IF), notamment la BNDA et Kafo Jiginew ; une (01) union régionale des sociétés coopératives des producteurs de coton (UR-SCPC) ; deux (02) ONG : Fitinè Conseil et Afrique Verte ; une (01) chambre d'agriculture ; dix (10) personnes-ressources.

2.5 Choix des acteurs

Avec la collaboration des chefs de zone de production agricole (ZPA), nous avons choisi : trois (3) OPs par zone de production agricole dans le secteur central ; deux (2) OPs dans chacune des huit (8) zones de production agricole, choisis dans les quatre (4) autres secteurs. Dans la filiale Nord-Est – Koutiala nous avons mené nos investigations dans treize (13) zones de production agricole pour trente une (31) OP enquêté et dix (10) personnes-ressources enquêté.

Nous avons aussi rencontré individuellement les responsables des OPs (le président et le secrétaire

AV, ce sont les personnes les plus impliquées dans les activités de l'organisation), donc deux responsables de ces OPs enquêté ; ce qui fait vingt-six (26) et ensuite nous avons formé de petits groupes de trois (3) personnes (membres d'OP non responsable, ceux-ci sont les plus fréquents dans les réunions et les activités concernant la vie de l'organisation) ; ce qui nous donne un total de trente-neuf (39) membres pour des entretiens approfondis. Les éléments analysés au niveau des organisations paysannes et de leurs membres sont : le mode d'organisation, de fonctionnement, la situation de l'endettement de l'OP et de ses membres, le taux de remboursement, les rapports de l'organisation avec les autres acteurs, les stratégies alternatives face aux problèmes liés aux activités transférées, etc.

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les contradictions ont toujours un côté positive par l'analyse du changement socio-économique. Elles ont aussi l'attribue du bénéfice de l'approfondissement des arguments sur la logique normative et scientifique des positions. Le débat sur la décentralisation, le changement socio-économique et le développement local a pour vocation de constituer les mélanges de genres et de sources de malentendus [9]. Les fonctions et tâches que les OPs sont concrètement appelées à assumer dans la zone d'étude sont présentées dans le tableau 1.

3.1 Fonctions de crédit agricole

Les tâches ou activités liées à cette responsabilité de l'État transférée aux organisations paysannes sont : i) Recherche de crédit de campagne ou d'équipement ; ii) Calcul de l'endettement individuel ; iii) Suivi de la récupération des dettes individuelles ; iv) Suivi du remboursement de l'OP aux différents créanciers et v) Suivi d'un compte bancaire. Ces crédits jouent une fonction de garanties pour les communautés rurales. Les dysfonctionnements liés à l'accès aux crédits a un impact systématique sur les conditions de vie des producteurs ruraux. [10] ont réalisé une étude similaire au Burundi, ceux-ci discutaient la nécessité de solidarité pour assurer les fonctions autour de la production alimentaire, transformation des produits, habitats, assurance sanitaire, possession des animaux domestiques, scolarisation des enfants dans une logique du développement durable.

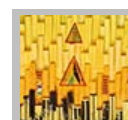


Tableau 1: Responsabilités ou fonctions et tâches ou activités

Responsabilités / Fonctions	Activités ou tâches
Crédit Agricole	✓ Recherche de crédit de campagne ou d'équipement ✓ Calcul de l'endettement individuel ✓ Suivi de la récupération des dettes individuelles ✓ Suivi du remboursement de l'OP aux différents créanciers ✓ Suivi d'un compte bancaire
Vulgarisation Agricole	✓ Recensement des besoins individuels et collectifs ✓ Recensement primaire ✓ Recensement des superficies et le piquetage ✓ Formation en alphabétisation fonctionnelle (membres d'OP) ✓ Approvisionnement et distribution des intrants ✓ Stockage par l'OP ✓ Collecte d'informations ✓ Identification et résolution des principaux problèmes rencontrés
Commercialisation	✓ Accompagnement du produit au niveau du pont-bascule (agent CMDT, commis et représentant de l'OP) ✓ Classement du coton (deux producteurs et un agent CMDT) ✓ Pesée des apports individuels ✓ Stockage et gardiennage ✓ Paiement des apports individuels ✓ Établissement et présentation des comptes de la commercialisation
Organisation et Gestion	✓ Organisation et responsabilisation du monde rural ✓ Gestion comptable et financière ✓ Établissement des comptes d'exploitation par activités de l'OP ✓ Formation – alphabétisation ✓ Information des adhérents sur les résultats de la campagne ✓ Établissement des comptes d'exploitation individuels des adhérents ✓ Suivi-évaluation

Source : Enquêtes de terrain

3.2 Fonctions de vulgarisation agricole

Les tâches ou activités liées à cette responsabilité de l'État transférée. Il s'agit du recensement des intentions des producteurs (plan de campagne) : i) Recensement des besoins individuels et collectifs en moyen de production ; ii) Recensement primaire ; iii) Recensement des superficies et le piquetage ; iv) Formation en alphabétisation fonctionnelle (membres d'OP) ; v) Approvisionnement et distribution des intrants aux adhérents de l'OP ; vi) Stockage par l'OP ; vii) Collecte d'informations et viii) Identification et résolution des principaux problèmes rencontrés. En dépit de la résilience du système coton dans la zone d'étude, des défis demeurent importants et sont au-delà de la fonction de vulgarisation. Ceux-ci se rapportent à la sécurisation de revenus des producteurs et du bien-être des communautés rurales [11].

3.3 Fonctions commerciale du coton graine

Les tâches ou activités liées à cette responsabilité de l'État transférée concernent le coton graine : effectué par l'équipe technique (secrétaire OP, animateur et agent CMDT) ; il s'agit : i) Accompagnement du produit au niveau du pont bascule (agent CMDT, commis et représentant de l'OP) ; ii) Classement du coton (deux producteurs et un agent CMDT) ; iii) Pesée des apports individuels

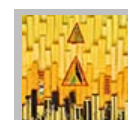
; iv) Stockage et gardiennage ; v) Paiement des apports individuels ; vi) Établissement et présentation des comptes de la commercialisation.

3.4 Fonctions de gestion du monde rural

Les tâches ou activités liées à cette responsabilité de l'État transférée sont : i) Organisation et responsabilisation du monde rural ; ii) Gestion comptable et financière ; iii) Établissement des comptes d'exploitation par activités de l'OP ; iii) Formation – alphabétisation ; iv) Information des adhérents sur les résultats de la campagne ; v) Établissement des comptes d'exploitation individuels des adhérents et vi) Suivi-évaluation.

[4] reportait trois types de structurations du monde rural qu'il avait observé dans son cas d'étude sur les OPs au Madagascar. Il s'agissait des structures qui intervenaient directement ou indirectement à l'organisation de la production agricole en milieu rural.

En reprenant la typologie de [4] on a observé des fonctions tributaires à ces OPs dans la zone de Koutiala comme, celle de crédits agricole, vulgarisation, commercialisation et de gestion. Ces fonctions se réfèrent aux interventions des structures extérieures au milieu rural, associant des



représentants du monde rural (ONGs et Associations) et structures professionnelles.

IV. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Il y a des décennies pendant lesquelles l'Etat a commencé la réorganisation du monde rural au Mali. Cette organisation devrait prendre en compte les mutations socio-économiques qui se vivent dans ces localités. L'Etat et les communautés rurales devraient procéder à un diagnostic organisationnel des OPs. Quels sont les critères pertinents pour les OPs afin d'assurer la durabilité de ces coopératives en milieu rural ? L'efficacité de l'accompagnement des OPs serait liée à ces défis à relever. Alors, l'évolution des changements climatiques exige un développement du système d'assurance agricole au Mali.

REMERCIEMENTS

Nous osons espérer que la lecture de cet article aura suscité des réactions, nous vous invitons à les faire parvenir aux auteurs, par email ou sous forme de document relatant vos observations, suggestions et contributions. Nos vifs remerciements vont à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de cet article.

CONFLIT D'INTERET

Nous déclarons solennellement qu'aucun conflit d'intérêt n'est manifesté par rapport à cet article de communication en question.

REFERENCES

- [1] M. Soumaré, A. Gakou, and B. Togola, «La vulgarisation et le conseil agricole à travers les Unions Locales», 2012, pp 63-71.
- [2] B. Wennink, B. Togola, and T. Hilhorst, «Bâtir l'entrepreneuriat paysan au Mali. Les enseignements tirés des coopératives agricoles appuyées par le programme de Développement Économique Rural de la région de Koulikoro». (eds) *KIT Publishers*, 2012, Bamako, Amsterdam.
- [3] C. Pagé, «La communication dans le processus de vulgarisation d'innovations agroforestières dans la région de Ségou, au Mali. Mémoire (M.Sc.), Université Laval, 2007, pp 116.
- [4] I. Droy, «Situation et évolution des organisations paysannes et rurales à Madagascar» : Secrétariat du Réseau GAO et Chaire de Sociologie Rurale INA-PG, 75231 Paris, Cedex 05, 1993, France.
- [5] M. M. Keita, G. M. Ogendi, and G. Owuor, "Socio-economic Factors That Influence Household Incomes in Artisanal Gold Mining Area of Tangandougou Commune, Mali" *ADRRJ Journal of Agriculture and Food Sciences*, Ghana. 2018a. pp 2 (3): 1-19.
- [6] Assemblée Régionale de Sikasso, «Plan stratégique de développement régional de Sikasso 2011-2020» : ARS/Fonds Africain pour le Développement, 2011.
- [7] M. M. Keita, G. M. Ogendi, G. Owuor and W. N. Nyamao, "Impacts of Artisanal Gold Mining on Water Quality: A Case Study of Tangandougou Commune in Sikasso Region, Mali." *Journal of Environmental Health and Sustainable Development*, 2018b, 3(4): 621-9.
- [8] M. Pierre, «La participation dans les organisations coopératives en Haïti : le cas de la coopérative Saint-Jérôme», 2007, <http://www.memoireonline.com/>
- [9] P. Le Meur, «Décentralisation et développement local - Espace public, légitimité et contrôle des ressources», *Bulletin de l'APAD* [En ligne], mis en ligne le 04 octobre 2006, consulté le 19 avril 2019. <http://journals.openedition.org/apad/496>
- [10] D. Manirakiza, F. Mulumeoderhwa, A. Maniriho, P. Ndimanya, and P. Lebailly, "Impact of Farmers' Cooperatives on Socio-economic Living Conditions of Rural Households in North of Burundi", *International Journal of Economics and Financial*, 2020, pp 10(1), 150-158.
- [11] M. Soumaré, and M. Havard, "Les zones cotonnières africaines : dynamiques et durabilité", *Actes du Colloque de Bamako Novembre 2017. ÉDIS*, juin 2019. ISBN : 978-



Relations entre autochtones et allochtones dans le Bougouni-Sud

Mohamadine Asseydou^{1,2}, Hady Diallo²

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

²Institut Pédagogique Universitaire de Bamako

Adresse email : mo.asseydou@gmail.com

RESUME : Les communes de Sibirila et Yinindougou dans le Bougouni sud subissent depuis deux décennies, l'arrivée massive de populations venant des horizons divers à cause de leurs richesses naturelles. L'objectif général est d'étudier les relations entre les autochtones et les allochtones dans le Bougouni Sud. La méthode d'étude combine le quantitatif et le qualitatif basée respectivement sur l'utilisation d'un questionnaire et d'un guide d'entretien. Le choix raisonné pour déterminer les villages à enquêter et la technique aléatoire simple pour les chefs de ménages ont été appliqués. Les données analysées qualitativement et quantitativement relèvent que les migrants viennent essentiellement de Koutiala, Yorosso, San, Dioïla, Pays dogon à partir de 2001. Leur intégration repose sur l'institution de tutorat comme partout en Afrique de l'Ouest. Au début, leur accueil était perçu comme un prestige et un signe de l'opulence. Depuis deux ans, l'accès à la terre est devenu un enjeu de convoitise, de compétition entre les premiers occupants et leurs hôtes. Les premiers ont essayé d'imposer de nouvelles règles d'accès aux ressources pour dissuader les allochtones et protéger leurs ressources, enfin générer de revenus. Ces règles ont dégradé les relations entre les autochtones et les allochtones entamant la cohésion sociale, suscitant un sentiment de méfiance, de suspicion et de conflits souvent meurtriers comme ce fût le cas de Solakonroni. Derrière ces mesures de restriction, il y a des enjeux politiques, économiques, sociaux qui se cachent derrière.

Mots clés : Conflits fonciers, autochtones, allochtones, intégration, terres.

INTRODUCTION

La migration rurale prend de l'ampleur de plus en plus au Mali. Ainsi, la zone de Bougouni sud est devenue un des pôles d'attraction des paysans en quête de terres fertiles vers le début des années 2000. Elle dispose des ressources naturelles abondantes et des conditions climatiques favorables ; la zone est propice à l'agriculture et au pastoralisme. Des familles entières quittent les cercles de Koutiala, Yorosso, du pays Dogon, de Banico, etc. vers cette zone à cause de la détérioration de leurs conditions de vie.

Au début, l'arrivée des migrants était même encouragée dans les sites d'accueil. Les nouveaux arrivants sont intégrés selon l'institution du tutorat à l'instar de l'Afrique de l'Ouest. Ce mouvement migratoire a contribué à la croissance démographique, avec son corollaire de pressions sur les ressources foncières et pastorales.

Cette dynamique démographique (l'arrivée des migrants) et l'émergence des nouveaux enjeux économiques, sociaux et politiques autour de ressources foncières ont augmenté la concurrence entre les différents acteurs dans les nouvelles zones d'accueil. Ces derniers temps, la cohabitation entre les autochtones et les étrangers est soumise à rudes épreuves à cause de la renégociation des règles d'accès aux terres. Ces nouvelles mesures de restriction comme l'instauration d'une redevance monétaire annuelle et la limitation des exploitations agricoles des allochtones ont exacerbé les tensions sociales débouchant parfois à la confrontation. Cette

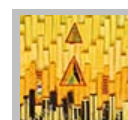
recrudescence de tensions a poussé au retrait des champs, de refus d'accueil et des expulsions des migrants agricoles. Toute chose qui a entamé la cohésion sociale qui était une réalité intangible au début de cette migration.

Cette étude est limitée géographiquement au cas des communes de Sibirila et de Yinindougou dans le Bougouni Sud au Mali. L'étude se propose d'analyser les relations entre les autochtones et les allochtones dans le Bougouni Sud.

METHODOLOGIE

Cette étude est basée sur la combinaison du quantitatif et qualitatif. Un questionnaire a été soumis aux chefs de ménages et un guide d'entretien adressé aux autorités coutumières, aux services techniques et administratifs, aux leaders d'opinion. Le choix raisonné a été utilisé pour déterminer les quatre villages enquêtés (Ouogona, Kodonoum dans la commune de Sibirila et Manfalla Sirala et Solakonroni, commune de Yinindougou). Le choix s'explique par le flux important de migrants internes dans ces zones et l'émergence des conflits fonciers. La technique aléatoire simple a été choisie pour sélectionner les 120 chefs de ménages repartis en les quatre villages, soit 30 par village. L'enquête de terrain s'est déroulée en 2019 pendant trois mois (février à avril).

Ainsi, pour faciliter le traitement statistique, les différentes modalités de variables ont été pré-codées. Après le terrain, donc il fallait créer un code-book pour une codification exhaustive de toutes les



variables. Ensuite, l'intégration de données dans le logiciel SPSS statistics version 23 a été effectuée. Il s'agissait de procéder par une analyse statistique afin de construire de graphiques, de tableaux permettant de comparer de variables, de croisements.

Cependant, les données qualitatives ont été enregistrées via un dictaphone. Les discours des interviewés ont été transcrits fidèlement et traduits en langue française pour ceux de locuteurs *Bamanan*. L'analyse de contenu de discours a été appliquée pour le traitement de ces données.

1. La dynamique migratoire

Tableau 1 : Cercles de provenance de migrants

Cercles de provenance		
Cercles de provenance	Fréquence	Pourcentage
Koutiala	49	40,8
Yorosso	26	21,7
San	16	13,3
Dioïla	12	10,0
Bandiagara	9	7,5
Autre	8	6,7
Total	120	100,0

Dans ce tableau, le constat qui se dégage, 40,8% des migrants internes enquêtés proviennent du cercle de Koutiala soit le chiffre le plus élevé suivi du cercle de Yorosso soit 21,7%. Les cercles de San, de Dioïla et de Bandiagara viennent respectivement en troisième position 13,3%, quatrième 10% et cinquième 7,5%. Enfin, la modalité Autre occupe la dernière place avec 6,7%. Dans ce contexte, Autre désigne essentiellement le cercle de Sikasso et les communes de Bougouni Nord et autres localités du pays. Cette surreprésentation des ressortissants de Koutiala et Yorosso soit près de 62% de migrants agricoles dans la localité de Bougouni Sud est la conséquence surtout de leur pratique agricole (le système extensif) surtout la culture du coton qui requiert de grandes surfaces agricoles. La pauvreté des terres du fait de l'absence de jachères, les déjections climatiques et la croissance démographique contribuent essentiellement aux départs massifs de la population. Du coup, ces derniers temps, ces deux localités sont devenues répulsives, raison pour laquelle leurs ressortissants migrent à la recherche de terres agricoles.

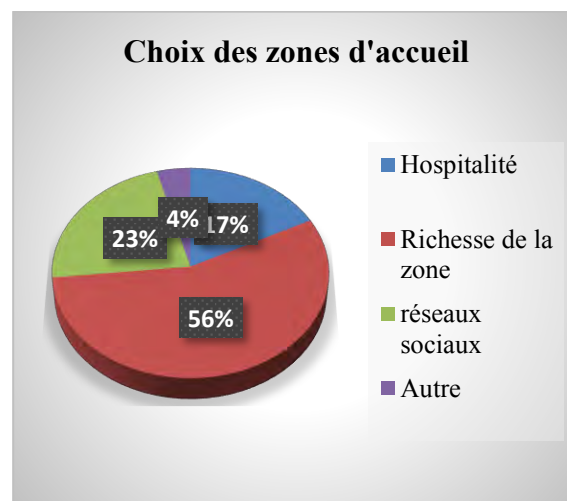
Quant au cercle de Bandiagara, traditionnellement ses ressortissants se dirigeaient vers le cercle de Yanfolila. Dans le cadre de cette étude, ils sont minoritaires dans ces zones d'arrivée enquêtées. Ils sont installés surtout à Selingué et la commune de Wassoulou Ballé depuis les années 80 avec la famine

qui a secoué le sahel. Cependant, on y rencontre quelques ressortissants du plateau dogon avec 7,9 % dans les zones de Bougouni Sud où l'arrivée des migrants remonte à moins de 20 ans.

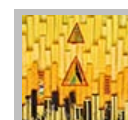
Ainsi, le cercle de San avec 10,8% de migrants sont surtout des Minianka et des Peuls de culture Minianka qu'on appelle aussi les peuls de Bendougou. Ils s'adonnent aux cultures de rente qui sont consommatrices d'espaces. Ce sont également des agropasteurs qui détiennent de troupeaux importants. Ensuite, ceux de Dioïla proviennent essentiellement de la localité de Massigui ; en analysant leur trajectoire, on se rend compte qu'ils sont migrants à la base. La plupart sont de peuls des régions de Mopti et de Ségou qui ont migré pour le Banico et qui ont adopté la culture Bambara. De ce fait, beaucoup exercent comme activité principale l'agriculture mais à côté l'élevage.

De façon générale, les migrants internes enquêtés sont maliens comme l'attestent les données présentées dans le tableau 1. L'ethnie Minianka prédomine cette migration agricole interne. Il convient de signaler que les zones d'accueil étudiées deviennent de plus en plus de pôle d'attraction de migrants internes à cause de la disponibilité de terres fertiles, les conditions environnementales favorables. Toute cette communauté mosaïque entre en interaction avec la population autochtone. Plusieurs facteurs incitent aux choix de sites d'accueil.

2. Choix des zones d'accueil



Ce graphique illustre les différents choix qui motivent les migrants internes à s'installer dans ces zones. La richesse en ressources naturelles paraît très déterminante dans le choix des sites d'arrivée soit 56% des enquêtés. Les communes de Sibirila et Yinindougou regorgent des ressources naturelles comme les terres agricoles fertiles, les forêts, les zones de pâturage. Les conditions climatiques sont également attrayantes, situées dans la zone pré



guinéenne. Toute chose qui peut justifier le choix de ces localités. Le profil de ces migrants est généralement agricole. Avec les facteurs push dans les zones de départ comme la pauvreté de sols, l'irrégularité des pluies, l'explosion démographique, la pauvreté monétaire, ces paysans sont contraints de se rendre dans ces zones clémentes. Au-delà de ces facteurs, ils pratiquent une agriculture extensive qui consomme de terres surtout avec les cultures de rente comme le coton. Il fallait trouver des espaces surfaces pour la culture du coton, destinée à la commercialisation.

En deuxième position, les réseaux sociaux ont obtenu 23% des opinions des enquêtés. Il s'agit de relations sociales ou liens (parents, amis) dont ils disposent dans les zones de destination. Cette tranche des enquêtés incite leur choix par le fait qu'un parent déjà établi au niveau des sites d'arrivée l'invite à venir. Souvent, les premiers migrants suscitent leurs connaissances à quitter. D'ailleurs, les nouveaux migrants s'appuient sur les siens installés depuis longtemps pour faciliter leur insertion. Les premiers allochtones deviennent parfois leurs tuteurs ou servent de croix de transmission entre eux et les autochtones qui sont les tutélaires de terres. Ce qui suscite des tensions entre les premiers installés et les autochtones. Les derniers estiment que ceux-ci tentent de se substituer à eux et transgressent les normes édictées en matière d'accueil et d'insertion des nouveaux arrivés.

D'autres évoquent aussi l'hospitalité comme facteur déterminant du choix de zones d'arrivée soit 17%. Ils considèrent que leurs tuteurs sont accueillants. Il faut rappeler au début, la population de sites d'arrivée incitait les étrangers à élire domicile chez eux pour peupler les terroirs afin de bénéficier de la main d'œuvre. Il y a également les avantages liés aux transactions foncières. Chaque migrant doit verser des ristournes à son tuteur à la fin de la récolte, c'est une logique de l'économie morale. Au-delà, l'expertise de certains migrants internes (Minianka) est sollicitée surtout en matière de la culture du coton pour impulser leurs localités. Derrière ça, il y a les retenues sur chaque tonne de coton des allochtones versée au village hôte pour le développement local, disent-ils. Sans compter que les zones cotonnières bénéficient des actions de développement de la part de la CMDT. Lors des recherches empiriques, il a été constaté qu'il y avait des villages qui convoitaient les migrants Minianka à venir s'installer chez eux pour les aider à éponger leurs dettes vis-à-vis de banques ou de caisses de micro finances. Les rentes migratoires ont contribué à rehausser le niveau de développement de certains villages récepteurs de migrants agricoles internes.

Enfin, Autre représente seulement 4% des enquêtés de l'échantillon. La ressource eau est citée comme un choix de zones réceptrices surtout chez les

éleveurs. Aussi, la taille de la population du village de destination rentre en ligne de compte. Les villages moins peuplés sont prisés par les migrants internes afin d'accéder facilement aux terres.

A l'analyse des données collectées, il est apparu clairement que les choix de zones d'arrivée sont justifiés par l'interaction de plusieurs facteurs. Mais, le plus déterminant semble être la disponibilité de ressources naturelles. A côté, les réseaux sociaux jouent un grand rôle dans la dynamique migratoire. Ensuite, un autre facteur pas le moindre l'hospitalité des logeurs rassure également mais cette valeur commence à s'effriter, les zones d'arrivée deviennent de plus en plus hostiles aux allochtones ces derniers temps.

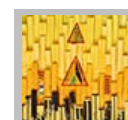
3. Autorités de régulation foncière

Tableau 2 : accès des étrangers aux ressources naturelles

Accès des allochtones aux ressources naturelles		
Autorités	Fréquence	Pourcentage
Chef de village	70	58,3
Tuteur	41	34,2
Allochtone	4	3,3
Autre	5	4,2
Total	120	100,0

Le tableau ci-dessus indique les résultats de l'accès des allochtones aux ressources naturelles au niveau des sites d'accueil. Il s'agit d'identifier, quelles sont les différentes autorités qui autorisent à l'accès aux ressources surtout concernant les étrangers. Le chef de village demeure la première autorité avec 58,3% selon les données recueillies. A la lumière de ces données, les autorités coutumières disposent encore de légitimités en ce qui concerne la gestion des terres. Surtout dans les villages enquêtés, les différents chefs de villages accumulent à la fois, les deux types de chefferies (administrative et terres).

Ainsi, l'accès de ressources par le tuteur présente 34,2%. Il s'agit du logeur de l'étranger une fois au village d'accueil. Certains tuteurs autochtones disposent d'espaces qu'ils octroient directement à leurs hôtes pour subvenir à leurs besoins. Les tuteurs sont souvent indiqués soit par un ancien migrant, soit par le chef de village submergé par les vagues des étrangers. Parfois c'est dans une logique de la part des autorités coutumières de valoriser d'autres habitants du village en leur confiant une responsabilité (de nouveaux arrivants). Puisqu'avoir des étrangers paraissait comme un capital économique et social pour les autochtones.

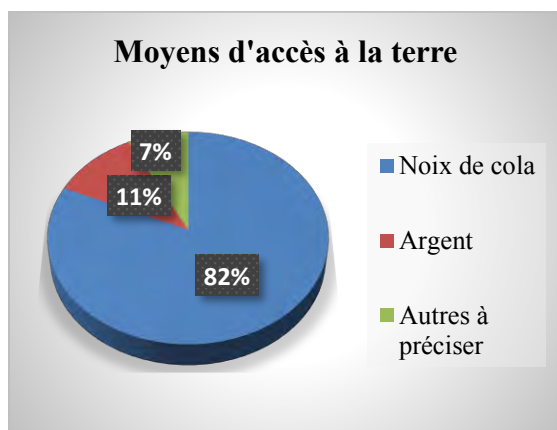


Par ailleurs, l'accès des étrangers aux ressources, la modalité autre a obtenu 4,2% tandis que l'allochtone a recueilli 3,3%. Tout d'abord, autre présente généralement d'autres autorités qui émergent de plus en plus comme la jeunesse. Certains disent accéder aux ressources foncières par le biais de jeunes du village contre de l'argent. Cette catégorie sociale s'interfère de plus en plus dans la gestion des terres au grand dam des autorités coutumières légitimes. De leur côté, les jeunes estiment que les aînés accaparent la rente migratoire liée à l'accueil et l'installation des étrangers.

En revanche, la modalité allochtone, il s'agit des étrangers qui attribuent clandestinement des terres à d'autres allochtones. Certains étrangers établis de plusieurs années tentent d'affecter des terres à leurs compatriotes. Toutefois, ce cas d'espèces demeure très rare pour le moment. Généralement, ils cèdent une partie de leur exploitation à un proche lui permettant de survivre. Mais, cette pratique est mal perçue par les autochtones qui prêtent d'autres intentions à ce type d'étrangers qui outrepassent les règles et les usages du patrimoine foncier de la zone.

Cependant, il n'en demeure pas que l'institution chef de village est l'autorité qui régule l'accès aux ressources naturelles. Il reste la référence la plus crédible et rassurante pour les étrangers. Par ailleurs, d'autres acteurs interviennent ; à l'image des autres notables du village qui concèdent de terres à leurs hôtes mais toujours est-il que le chef de village est informé. Ce mécanisme de tutorat est une logique d'assistance aux étrangers pour assurer la subsistance de leurs familles. Parmi ces acteurs, il y a la jeunesse qui essaie de s'affranchir du pouvoir traditionnel surtout dans un contexte de suspicion et d'accusation à l'égard des autorités traditionnelles jouissant de la rente migratoire. Quant aux migrants de la première génération des allochtones, certains essaient de contourner les normes en matière d'intégration des étrangers pour arranger leurs proches à leur accorder une portion de terres à l'insu des autorités coutumières.

4. Les moyens d'accès à la terre

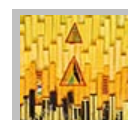


Ce graphique illustre les différents moyens d'accès à la terre. Ils sont généralement symboliques même si l'argent commence à intervenir dans les transactions foncières. Il est évident que les noix de cola demeurent le principal moyen d'accès aux ressources foncières soit 82% selon les enquêtes. Dans la plupart des traditions africaines, les noix de cola sont des offrandes pour les propriétaires terriens pour chasser les esprits invisibles. Dans les transactions foncières coutumières, ces quelques colas et un poulet ou son prix sont exigés à l'étranger en guise de reconnaissance aux chefs de terres. Quant au poulet, son sang doit être versé dans le nouveau champ pour chasser les mauvais esprits. L'insertion des enquêtes est assurée par l'institution du tutorat. Ces ressources symboliques instaurent également des rapports de dépendance des hôtes vis-à-vis de leurs tuteurs. Toutes ces interactions ne sont pas sans problème.

Ainsi, l'argent est présenté aussi comme un des moyens d'accès soit 11% d'après les personnes interrogées. De plus en plus, l'argent est réclamé aux étrangers par certains autochtones pour acquérir une surface à cultiver. Mais, loin d'un achat de terres, certains individus peu orthodoxes exigent le versement d'un montant pour accéder aux ressources foncières. Avec la demande croissante en terres, certains tuteurs violent les normes sociales locales en matière de transaction foncière qui était symbolique. D'autres se défendent en le considérant comme un moyen pour dissuader les migrants agricoles qui envahissent leurs localités avec les risques d'épuisement de leurs ressources naturelles. En réalité, la migration devient de plus en plus une source de revenus pour les autorités villageoises, il cristallise toutes les frustrations entre les différents acteurs. Comme en témoigne ce chef de village : *« Cependant, au fil des années, les choses se compliquent. D'autres personnes attribuent des terres aux étrangers sans l'aval du lignage. A titre d'exemples, la jeunesse a installé récemment plusieurs personnes à l'insu du conseil villageois moyennant une somme qui varie entre 30 000 F à 100 000 F CFA par étranger ».*

Enfin, la modalité Autre a recueilli 7% des enquêtés de l'échantillon. Ce chiffre peut s'expliquer par le fait que certains migrants sont embauchés par les autochtones comme des employés pendant un ou deux ans. Après avoir été exploité par le tuteur ; il lui offre un lopin de terres. C'est une stratégie déployée par les familles qui ont besoin de la main d'œuvre. Au-delà, certains allochtones disent offrir des animaux pour accéder aux ressources. Cette frange concerne surtout les éleveurs allochtones.

A travers les données recueillies, les ressources symboliques demeurent le principal moyen d'accès aux ressources. Cependant l'aspect pécuniaire des transactions foncières émerge de plus en plus. Cette



rente migratoire dégrade les relations entre les allochtones et les autochtones. Les premiers dénoncent la cupidité de certains de leurs logeurs. Les étrangers estiment que ce sont des ressources de propriété commune tandis que les fils de village les considèrent comme les ressources ancestrales pour lesquelles leurs aïeux ont versé leur sang pour les dompter.

5. Les transactions foncières

Tableau 3 : les transactions foncières

Modalités	Effectif	Pourcentage
Don	36	30,0
Location	4	3,3
Métayage	2	1,7
Prêt	72	60,0
Autre	6	5,0
Total	120	100,0

Le tableau ci-dessus montre les différentes transactions foncières rencontrées au niveau de sites d'accueil. Ces transactions sont à la base des interactions entre les tuteurs et leurs hôtes. Ces arrangements institutionnels permettent aux allochtones d'intégrer la société et accéder aux terres. Ainsi, le prêt occupe 60% des transactions foncières, puisque selon leurs systèmes de représentation, la terre est considérée comme une ressource sacrée, indivise et inaliénable. Elle ne peut être prêtée aux étrangers que pour nourrir leurs familles. Ce qui les place dans une posture de dépendance permanente vis-à-vis de leurs bienfaiteurs autochtones. Ce droit d'usufruit est très précaire ; après des investissements réalisés, le propriétaire peut lui retirer son champ sans d'autres formes de compensation. Le cas de cet allochtone est assez édifiant, Y. G : « *Moi, personnellement, je suis victime, le chef de village a retiré une partie de mon exploitation que je cultive depuis 16 ans au profit de son frère venant de la Côte d'Ivoire. Ça m'a beaucoup frustré. Je ne pouvais pas imaginer une telle attitude envers moi. De surcroît, j'ai valorisé l'espace concerné* ». Cet exemple est loin d'être un cas isolé, les pratiques sont légion dans les zones d'arrivée selon les allochtones enquêtés. Telle attitude génère un sentiment de méfiance et de frustration chez les allochtones et aboutit à des conflits fonciers. Aucune garantie fiable qui ouvre la voie à l'incertitude quant à leur devenir. Du côté des tuteurs, ils se fondent sur la tradition qui prohibe la vente des terres, elles ont été léguées par leurs ancêtres et à leur tour aussi ils doivent les préserver

pour la postérité. A l'évidence, ce n'est qu'un prétexte pour faire le chantage aux étrangers.

Par ailleurs, le don de terres a été évoqué par 30% des enquêtés comme une des formes de transactions foncières. Mais la prudence doit être de mise en parlant de don. Certains allochtones considèrent que leurs tuteurs les ont concédés définitivement les terres. D'autres aussi après avoir travaillé comme ouvriers, pendant une ou des années, l'employeur leur attribue le nouvel espace en guise de récompense. Mais, dans la logique des autochtones, la terre ne peut être pas attribuée définitivement à un étranger. Par contre, en se fiant aux propos de certains migrants, au début, leurs logeurs ont octroyé à titre définitif des espaces boisés qu'ils ont défrichés et mis en valeur. Mais avec la réussite constatée chez eux, beaucoup tentent de se dédire. Cette tentative de renégocier les termes de contrats ou cette volteface engendre une recrudescence des tensions entre les tuteurs et leurs hôtes.

Ensuite, la modalité autre présente 5% de l'échantillon. Dans ce lot, il y a ceux qui déclarent avoir acheté leurs champs. Au-delà, il ressort aussi ceux qui travaillent avec leurs compatriotes migrants ou d'autres qui disent avoir accès à la terre par le biais de ceux. Il faut retenir que la vente intervient en cas de nécessité absolue de la part de propriétaire terrien.

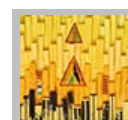
La location est très rare seulement 3,3%. Ce type de transaction est rentré en vigueur récemment. Par mesure de prudence, certains mettent leurs champs en location pour préserver leurs droits de propriété. Le contrat reste verbal ; l'intéressé peut verser de l'argent ou de produits agricoles à la fin de chaque récolte.

Enfin, le métayage qui est rarissime au niveau des sites d'accueil seulement 1,7% de l'échantillon. Le métayage est presque méconnu dans ces zones.

A l'analyse des données recueillies, il est prouvé que le prêt prédomine comme arrangement entre autochtones et allochtones. Cette pratique est un mécanisme de tutorat institué en Afrique noire. C'est une logique d'assistance aux étrangers pour nourrir leurs familles et à leur tour aussi manifester leur générosité à l'égard de leurs tuteurs. Cependant, il y avait ce que les migrants agricoles considèrent comme un don au début de leur arrivée. Avec la réussite des étrangers et leur arrivée massive doublée de l'installation définitive, il fallait renégocier les contrats, toute chose qui exacerbe les tensions entre les arrivants et leurs logeurs.

6. Tensions entre les différents acteurs

Le tableau 4 dresse les types de tensions tendues entre les différents acteurs autour de ressources



naturelles. Au tout début, les relations étaient cordiales entre les nouveaux arrivants et leurs tuteurs. Les étrangers étaient bien accueillis comme les prescrivent les us et coutumes et facilement intégrés dans la société selon les mécanismes de l'institution du tutorat. Dans les mêmes conditions, les autochtones leur ont octroyé des espaces à cultiver pour assurer la subsistance.

Tableau 4 : tensions autour des ressources

Type de tensions	Effectif	Pourcentage
Entre autochtones	7	5,8
Entre autochtones et allochtones	96	80,0
Sans réponse	17	14,2
Total	120	100,0

Mais, ces derniers temps, les relations commencent à se dégrader entre les allochtones et les autochtones soit 80% des opinions des enquêtés. Plusieurs facteurs sont à l'origine de cette situation de conflictualité. D'abord, la ruée de migrants internes vers ces zones ; dans certaines localités, ils sont plus nombreux que les autochtones. Ils craignent une probable domination des étrangers surtout que les étrangers s'installent de façon définitive.

Il existe de toute une combinaison de causes qui exacerbe les relations entre les autochtones et les allochtones. Elles sont liées pour la plupart à la gestion des ressources naturelles. Ces ressources sont porteuses des enjeux économiques, socio-culturels et politiques.

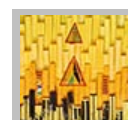
De plus en plus, les autochtones durcissent les conditions d'accès aux terres. C'est ainsi que certains tentent de renégocier les clauses de contrat qui les liaient aux allochtones. Au début de leur arrivée, les surfaces agricoles leur ont été prêtées à durée indéterminée voire données à selon une certaine opinion. Avec la pression foncière, les autorités coutumières commencent à imposer un système de redevances monétaires annuelles et la limitation des superficies déjà octroyées à 5 ha, mais aussi les nouvelles attributions. Cela au-delà du système d'obligation d'assistance en nature, en travail des étrangers à l'égard de leurs tuteurs en guise de reconnaissance. Comme l'explique cet autochtone **K. D** : « Mais, les choses prennent une certaine tournure : d'abord le problème de l'insécurité foncière, on est menacé d'être expulsé par nos tuteurs. On est en droit de se poser la question de la jalousie ou de la méchanceté parce que nous avons réussi relativement par rapport à eux. On a réussi plus que les autochtones car on est né dans le travail de la terre ».

Ces nouvelles mesures instaurées ont ravivé les tensions entre les migrants agricoles et leurs logeurs. Les premiers contestent ces nouvelles mesures de restriction arguant qu'ils ont mis en valeur ces espaces qui étaient de no man's land. Ces 5 ha comme exploitation agricole contrastent avec leur système agricole qui est naturellement extensif. Généralement, une bonne partie de l'exploitation est affectée à la culture du coton. Ces décisions récentes provoquent chez les allochtones un sentiment de frustration et d'incompréhension aboutissant souvent voire des conflits. Cet autochtone **B. K** réagit en ces termes « J'ai payé 72 000 FCFA, je suis très frustré. Cela a instauré un climat de méfiance, et une certaine psychose chez les étrangers que nous sommes. Tous les jours, quelqu'un vient nous menacer mais mon tuteur m'a rassuré. Les autochtones veulent nous retirer les terres déjà mises en valeur par nous ».

Du côté des autochtones, ils accusent les étrangers d'exploiter de façon anarchique leurs ressources. Ces mesures procèdent d'une gestion rationnelle pour préserver l'avenir de générations futures avec l'envahissement de leurs terres. Hors, selon eux les migrants agricoles ne songent qu'au profit immédiat. Comme l'illustre l'entretien de ce notable autochtone : « nous n'avons pas réussi la même éducation, leur logique, c'est le gain rapide. Ils ont quitté chez eux à la recherche du mieux-être, ils ne veillent pas sur le village et ses ressources naturelles. Quand ils finiront par les épuiser, ils partiront ailleurs ».

La situation est tendue puisque les autochtones sont intransigeants quant à l'application de nouvelles décisions prises. Certaines autorités coutumières proposent que toute personne qui ne veut pas s'y conformer est priée de partir ailleurs. Tandis que les allochtones mettent en avant leur investissement réalisé dans les champs, les conditions d'acquisition des terres (don ou prêt à durée indéterminée) leur nationalité malienne qui leur confère les mêmes droits que leurs tuteurs. Malgré tout, certains s'accommodent à la nouvelle donne à contre cœur tout en négociant la levée ou l'assouplissement de ces mesures qui sont préjudiciables aux migrants agricoles.

C'est dans ce contexte d'hostilités que les ressortissants du village de Solakoroni dans la commune de Yinindougou, et leurs étrangers ont engagé un bras de fer autour de l'application de la redevance monétaire annuelle contre une superficie de 5 ha. Comme l'illustre les propos de ce leader autochtone **M. D** : « Tout allait bien entre nos tuteurs et nous jusqu'à l'année 2018 après la récolte ; nos tuteurs nous ont informé l'intention de fixer une redevance comme droit à la culture. Le montant s'élève à 17 000 F CFA pour 5 ha par famille autochtone. Le reste de superficies déjà mises en



valeur en location. Le montant de la location dépend de plusieurs facteurs (qualité de sols, proximité du village, etc.). On leur a fait savoir que 5 ha ne permettent pas de subvenir au besoin d'une famille surtout élargie. Et puis, le pacte, c'était des terres octroyées sans condition à l'époque, tant qu'on est là. Ensuite, c'est nous qui avons mis en valeur ces terres. C'était la forêt qu'on a défrichée ».

Cet évènement a pris plusieurs tournures, après moult négociations, supplications de la part des étrangers. Nonobstant, les autochtones sont campés sur leur position (celui qui ne peut pas honorer leur exigence de partir ailleurs). Les allochtones à leur tour ont répliqué qu'ils ne sont pas prêts à respecter ces nouveaux engagements. Selon les étrangers, ils sont tous maliens.

A partir de là, les premiers habitants ont porté l'affaire devant le tribunal de Bougouni. Après avoir entendu les deux parties, le tribunal autorise les allochtones à cultiver. Cette victoire des migrants agricoles du verdict du 08 mai 2019 semble être un affront pour les autochtones. Ils ont estimé que leur terroir leur appartient, légué par leurs ancêtres au prix de sacrifices. Les allochtones de leur côté muni de la décision du tribunal, ils ont décidé de cultiver, cependant leurs tuteurs se sont opposés. C'est dans cette atmosphère que le 19 mai 2019, le conflit a éclaté entre les allochtones et leurs logeurs avec d'autres villages alliés. Le bilan de l'affrontement est de deux allochtones tués sur le champ de bataille, le saccage des maisons, des vivres, des matériels agricoles, des blessés, des animaux disparus, etc. Finalement, les 56 familles des étrangers ont quitté le village en abandonnant champs, maisons et biens.

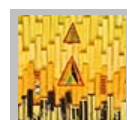
Mais ce conflit a pris une autre dimension, le tribunal a décidé d'arrêter certains chefs de villages impliqués dans l'affaire. Cela va compliquer la situation, puisque les 7 communes de Bougouni sud décident d'interdire à tous les étrangers de cultiver tant que ceux-ci ne seront pas libérés. Du côté des zones de provenance des étrangers, notamment Koutiala, la population a proféré des menaces de venir à Bougouni pour de représailles.

Cette situation en dit long sur les relations entre les allochtones et les autochtones. Elles étaient empreintes de cordialité, d'alliance, de solidarité, d'assistance au départ. Mais des nouveaux émergent de part et d'autre. Les premiers occupants estiment qu'ils perdent leur emprise sur les étrangers qui ont un poids démographique et économique significatifs. Les rapports d'allégeance de leurs hôtes vis-à-vis d'eux s'émoussent de plus en plus et deviennent des rapports d'égalité. A cela, il faut ajouter l'installation définitive des migrants agricoles qui fait surgir d'autres enjeux notamment l'occupation définitive de leurs terres prêtées, le sort des enfants de ces derniers et leurs enfants dans l'avenir autour des

ressources foncières et la gestion politique du village. Au-delà, il s'agit aussi d'une stratégie des autochtones d'augmenter leurs revenus vu l'attrait de leurs terres par les migrants agricoles. Puisque, ces nouvelles mesures sont aussi initiées par des mains invisibles qui tirent les ficelles. Cela pose la problématique de l'équation du droit positif pour la gestion de conflits fonciers dans les milieux ruraux maliens où le droit coutumier est reconnu comme le seul garant.

Ces ressources stratégiques comme les ressources pastorales, forestières et de l'eau aussi génèrent des relations conflictuelles entre les différents acteurs. A ce niveau, deux registres discursifs se mobilisent. Le premier registre, c'est la perception des étrangers dans ces milieux. Les autochtones pointent de doigt de violer les normes sociales locales en matière de gestion de ces ressources. Cet entretien d'A.B témoigne leurs sentiments qui prévalent chez les autochtones : *« Les allochtones nous causent du tort. On a interdit aux gens de cueillir les fruits de karité jusqu'à la levée de la mise en défens, en dépit de tout cela, ils ne nous écoutent pas surtout les étrangers. Ils se cachent la nuit pour aller faire la cueillette et venir vendre aux gens à 500 F CFA. Alors que on a institué un prix soit 200 F le kg. Ce qui rend la vie chère. Nous, les fondateurs, nous n'en profitons pas du tout à cause des arrivants qui sont venus nous envahir. Idem quant à la production du miel, c'est très désorganisé. On a fait de mises en gardes en veine »*. Les sentiments de regret et d'amertume sont perceptibles à l'égard des étrangers. Certains estiment qu'ils ont été envahis par les différents vagues de migrants. Leur soumission aux règles édictées du village d'accueil est sujette à caution. La cohabitation semble être difficile à l'image de cet entretien.

En revanche, le second registre, la plupart des allochtones accusent certains tuteurs de compromettre la coexistence pacifique. Ils sont surtout hostiles à l'élevage dans ces localités considérées comme des zones à vocation exclusivement agricoles selon leurs habitants. Ce passage du discours I.D en témoigne sur les relations entre les différents acteurs : *« l'élevage pose de problèmes. Les propriétaires de champs comme ils savent que les animaux appartiennent aux étrangers, ils les arrêtent même s'ils ne commentent aucun dégât. Ils disent automatiquement que tes animaux ont endommagé leurs champs. Autre phénomène qui s'exacerbe les tensions, la culture de l'anacardier, heureusement pour nous les éleveurs, le prix a baissé de façon drastique de 750 à 150 F CFA cette année »*. Ce discours révèle les sentiments de frustration et d'amertume des étrangers. Beaucoup décrient des actes d'injustice qu'ils subissent à cause de leur statut d'étrangers qui leur confère un statut servile vis-à-vis de leurs tuteurs. Autre enjeu stratégique qui suscite en partie à la dégradation des relations, il



s'agit de la culture d'anacardier dont la population autochtone détient le monopole. Les fruits de cet arbre sont convoités sur le marché mondial, d'où l'engouement de sa plantation. Les champs d'anacardier poussent partout, surtout que son entretien est moins onéreux. Beaucoup tentent de récupérer leurs terres au profit de cette culture de rente. Les cas de retrait ou menaces d'expulsion, refus d'accueil des étrangers sont monnaie courante dans ces sites à cause de ce renouveau agricole. Il a été introduit dans la zone par les rapatriés suite à la crise ivoirienne. L'exacerbation des relations n'est pas étrangère en partie à l'avènement de cette culture de rente qui est devenue une des sources de revenu.

Autre élément, les sites d'habitation pour les nouveaux arrivants dans les zones d'accueil cristallisent parfois les tensions entre les différents acteurs. La problématique de l'occupation de leurs lieux de résidence est variable selon les villages de destination.

Certains villages ont opté pour la cohabitation c'est-à-dire habiter sur le site du village avec les autochtones et cela pour impulser la dynamique économique du village. Cette cohabitation est appréciée différemment. Les tuteurs pensent que les étrangers ont contribué à la dépravation de leurs mœurs. En cas de problèmes, les étrangers sont généralement la cible accusée à tort ou à raison. Dans la logique des allochtones, ils ont favorisé le développement du village, l'existence de marchés, des infrastructures sociales de base. Ils estiment que le sentiment d'hostilité naissante à leur égard procède de la jalousie.

La cohabitation sur le même site a donné lieu à de concurrences entre les deux catégories sociales. La promiscuité aidant, les tensions se ravivent à ce niveau également.

Par contre, d'autres villages préfèrent installer leurs étrangers dans les hameaux auprès de leurs exploitations agricoles. Cependant, les autochtones dénoncent du fait que parfois que le contrôle de migrants agricoles leur échappe. Ils les reprochent d'augmenter leurs champs attribués sans leur avis, au bien installer d'autres personnes étrangères à leur insu. A ce niveau aussi, leur non-participation aux travaux d'intérêts collectifs du village est évoquée comme source de tension par les autochtones.

Ces arguments contribuent à la dégradation de l'atmosphère déjà délétère ces derniers temps entre autochtones et allochtones. Quelques soient le cas de figures, il y a de soucis, donc le site des résidences est devenu un couteau tranchant. Les malentendus

surgissent de partout, mais toutefois, ils sont inhérents à la vie sociale.

L'arrivée massive des migrants ruraux intensifie les sentiments de rejet à leur égard. Ce regain d'intérêt pour les sites d'arrivée commence être contrecarré par les autochtones en intelligence avec leurs élites (la mairie, les intellectuels résidant ailleurs). Puisque, ce phénomène migratoire présente des conséquences économiques, sociales, politiques et culturelles dont ils commencent à intégrer.

7. Les instances de régulation de conflits

Les autorités de régulation de conflits reposent essentiellement sur le conseil villageois, les leaders allochtones, la mairie, la justice, etc. Cependant, les autorités coutumières demeurent la cheville ouvrière en matière de régulation des conflits. Dans ce contexte de ces différends, elle est parfois jugée partielle et partisane surtout quand il s'agit des cas de litiges opposant les ressortissants du village aux étrangers. Ensuite, les chefs de villages sont les principaux instigateurs de nouvelles décisions de restriction d'accès aux terres. Quand, le conflit n'est pas résolu à ce niveau, les intéressés peuvent faire recours aux instances comme la mairie, la justice qui est l'instance suprême.

Néanmoins, les leaders allochtones tentent de résoudre certains litiges mineurs à leur niveau opposant des allochtones ou entre leurs *diagitui*¹ et eux. A cet effet, ils constituent le premier maillon de la chaîne.

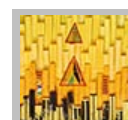
Ainsi, il faut signaler que la plupart de conflits fonciers trouvent leur solution au niveau du conseil villageois malgré certaines accusations de partialité.

CONCLUSION

La zone de Bougouni Sud est devenue un pôle d'attraction à cause de la disponibilité de ressources pour les paysans maliens victimes de la détérioration de moyens de subsistance. Leur intégration repose sur l'institution de tutorat comme partout en Afrique de l'Ouest. Au début, leur accueil était perçu comme un prestige et un signe de l'opulence.

Cependant, la dynamique démographique (arrivée massive des migrants) avec son corollaire de transformation de facteurs économiques de terres ont suscité de concurrences et de compétitions autour de ressources. Depuis deux ans, l'accès à la terre est devenu un enjeu de convoitise, de polémique entre les premiers occupants et leurs hôtes. Il y a tout un enchevêtrement des enjeux économiques, sociaux, politiques qui a contribué à l'exacerbation des tensions entre ces différents acteurs.

¹ Les tuteurs des étrangers dans les villages d'accueil



Ainsi, l'année de 2019 était l'épicentre de la crise foncière dégénérant à de conflits ouverts opposant les autochtones et les allochtones dans le village de Solakoroni. Ils prennent une dimension régionale et ethnique. Ces nouvelles mesures instaurées aggravent la cohabitation entre les premiers occupants de villages et leurs étrangers entamant la cohésion sociale, suscitant un sentiment de méfiance et de suspicion.

En terme de recommandation, il est nécessaire de procéder à une planification pour ces zones en précisant la capacité de charge à supporter afin de prévenir la dégradation des ressources naturelles par la pression anthropique et atténuer les tensions entre les différents acteurs.

Aux zones de départ, il faut prévoir un plan de développement spécial pour renforcer la résilience des paysans afin de minimiser la migration rurale.

Il est indispensable d'explorer les mécanismes endogènes en matière de gestion et de résolution de conflits fonciers dans les milieux ruraux.

BIBLIOGRAPHIE

- 1- BLANCHET A. et GOTMAN A., 2015. L'entretien, Armand Colin, Paris.
- 2- COLIN J.-P. et AYOUB M., 2005. Emergence, enclassement social et involution du marché foncier. Perspectives ivoiriennes. Document de travail de l'unité de travail 095 n°12, IRD, UR-REFO.
- 3- GADO B. A., 2000. Instances d'arbitrage et itinéraires de résolution des conflits fonciers dans le Boboye (Niger), in Lavigne Delville Ph., Toulmin, C., Traoré, S dir., Gérer le foncier rural en Afrique de l'Ouest, Karthala/URED, PP303- 326.
- 4- KONE M., IBO G. J. et KOUAME N., 2005. Le tutorat en Côte d'Ivoire, analyseur pertinent des dynamiques socio-foncieres locales en milieu rural ivoirien, GIDIS-CI.
- 5- JACOB P.-J., avril 2002. La tradition du pluralisme institutionnel dans les conflits fonciers entre autochtones : le cas du Gwendégou (Centre Ouest Burkina Faso), IRD REFO, p39.
- 6- PAUGAM S., S dir. (2012) : L'enquête sociologique, PUF, Paris.
- 7- KUBA R., oct. 2004 : La grammaire rituelle des hiérarchies : migrations et chefs de terre dans une société segmentaire (Burkina Faso), Autrepart N°30, Armand Colin/IRD, pp 63-76.



Tireyze : le manuscrit et talisman en Afrique de l'Ouest

Diarra Abdoulay Mohamed
Université Africaine Franco-arabe du Mali
E-mail : diarraabdoulay@gmail.com

Introduction

Tirayzé est une petite bourse en cuir, contenant des morceaux de papier revêtus d'inscriptions en caractères arabes, de chiffres, de dessins cabalistiques et de signes mystérieux. Les Tireyzés amulettes sont largement répandues en Afrique de l'Ouest principalement au Mali et au Niger. Elles sont confectionnées par le marabout et utilisées par la clientèle pour assurer sa protection¹ ou pour atteindre une réussite secrète. Elles sont censées être capables de protéger contre des maux tels que les maladies ou les forces malveillantes et peuvent permettre d'obtenir la richesse ou le pouvoir.

L'origine du mot Tireyzé

Tira : Mot en langue zarma signifiant Coran ou livre religieux. Au sens propre c'est un papier, le tira est très souvent employé pour désigner un cahier ou un livre. Si le père veut savoir si son fils a révisé, il lui demande s'il a regardé son tira.

Tirayzé : au sens propre, Mot en langue zarma-sonrey, composé de tira (papier) et de izé (fils ou petit) : petit papier. Tirayzé est employé pour désigner une amulette ou un gri-gri. C'est un manuscrit en caractères arabes enveloppés dans une peau de bête. Si un client rencontre son marabout, il lui demande s'il a fini de confectionner son tiraysé par exemple.

Avec TIREYZE, amulette, on est censé pouvoir détruire une machine ou arrêter une monture, se rendre totalement transparent, voler le sexe d'une femme ou d'un homme, tuer une personne.

De nos jours, surtout avec le syncrétisme, le TIREYZE est utilisé à grande échelle pour réellement ou prétendument prévenir toutes formes de danger, toutes formes de risques.

Le Marabout consiste aussi à écrire des formules de prière avec leurs nombres mystiques, sur de TIREYZE, sur des morceaux de bois, des peaux d'animaux ou une plaquette métallique². Le TIRA préféré du marabout pour confectionner des amulettes est en général blanc,³ parfaitement vierge (sans ligne)⁴. *Pour honorer un marabout africain à l'époque, il suffit de lui offrir du papier blanc sans ligne, dit « papier marabout ».*

Le Marabout Maître de TIREYZE

Le marabout *alfa*⁵ au Niger ou *Mori-Ké* au Mali est une personnalité exemplaire d'un point de vue social et religieux. Plusieurs définitions peuvent être données à ce terme dans le contexte africain et essentiellement celle qui consiste à dire que le marabout est un musulman qui a étudié le Coran dans une *makaranta*⁶ ou *Boulon Karayoro* (école coranique) et qui invoque Dieu pour les autres afin que leurs souhaits soient exaucés. Les fonctions des marabouts sont nombreuses et de caractères variés.

Pourquoi choisit-on un TIREYZE

- La protection

Selon certains clients de marabouts « Chacun dans la mesure où il est bien portant, beau, prospère, intelligent, apprécié, aimé, fécond et dans la mesure où cela est censé être perçu par

¹ Selon la clientèle de marabout à l'époque « du temps du prophète, l'amulette est destinée aux enfants qui n'ont pas encore la possibilité de lire le coran pour faire les prières de protection contre les maux. ». Nous avons remarqué au cours de nos enquêtes, tout enfant qui naît en milieu rural est automatiquement muni d'une ou plusieurs amulettes. En période d'épidémie, ce sont des talismans spéciaux qui leur sont confectionnés. Cf. Idrissa Souley (H.), Ibib. p.70.

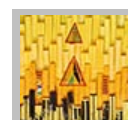
² Pour plus des détails voir, Hampaté (B.), l'enfant peul. Ed, Badel. 1992. p. 108. Cf. Idrissa Souley (H.), Ibib. p.70

³ Pour honorer un marabout africain à l'époque, il suffit de lui offrir du papier blanc sans ligne, dit « papier marabout ».

⁴ Voir supra, notamment la pratique maraboutique.

⁵ Mot de la langue zarma, déformation de l'arabe *al-faqih* : instruit en jurisprudence s'agissant du marabout-enseignant dans les écoles coraniques. Les commerçants religieux sont également surnommés *alfas* du fait de leur personnalité religieuse et de leur savoir.

⁶ Mot en langue *haoussa* d'origine arabe *qara'a* (réciter) ; il s'agit là de l'école coranique. *Makaranta* est couramment employé par les citoyens nigériens.



l'entourage, se sent en danger de devenir l'objet d'envie, de jalousie, donc d'être marabouté ».

D'autres raisons qu'on peut relever auprès de certains clients: «le Tireyze maraboutique est plus rapide et efficace que d'aller voir un policier ou un médecin... » pour résoudre son problème.

- Le remède de Tireyzé manuscrit est toujours consulté dans des moments de crise : Après avoir consulté plusieurs médecins ou psychiatres, en cas de résultat négatif, l'intéressé se dirige vers le marabout le plus proche pour fabriquer le tireyzé talisman qui porte de bonheur.

- Certains marabouts en milieu urbain s'expriment: « En général, ceux qui viennent nous voir ont une souffrance ou un sort qui nuit à leurs intérêts qui est établi par quelqu'un de l'extérieur ».

TIREYZE, manuscrit et Talisman

D'après les éléments historiques dont nous disposons, les premiers TIRA, manuscrits arabes situent le début d'islamisation de certaines parties de l'Afrique au sud du Sahara au IX^e siècle⁷. Notons que lors de l'exposition du musée des Arts africains et océaniques « Les vallées du Niger » à Paris (1993-1994), on pouvait remarquer une inscription en rouge sur quatre fragments d'une stèle provenant des ruines de la mosquée des Marabouts de Kumbi Saleh : « *lâ illâha 'ila Allâh al-amru Kulluhu lillâh lâ quwwata 'ilâa billâh al-wâhid* » (Il n'y a de puissance que grâce à Dieu, l'Unique) parmi un ensemble unique d'instruction, dont certaines ont été effacées mais dont les pierres de support ont été retournées et recouvertes de dessins géométriques. SEYNI Moumouni⁸ (spécialiste de TIRA manuscrit AJAMI) a signalé dans son travail de recherche que certains chercheurs persistent à faire un amalgame entre manuscrit et talisman africain⁹. Nous ne réfutons pas la présence des talismans dans la culture africaine mais nous considérons qu'ils participent à la diffusion d'une « culture scripturaire ». Le talisman a pour vertu première

de protéger l'individu des démons ou d'êtres humains malfaisants ; il peut être porté sur soi (amulettes, croissants de lune, gris-gris, etc.) ou sous la forme d'encre ayant servi à l'écriture, d'un verset (accompagné de miel).

En effet, le TIREYZE Talisman peut être également un objet de protection, l'expression d'une tradition qui relève de la mythologie et qu'on trouve d'ailleurs sous différentes formes dans les cultures africaines. A l'origine, le TIREYZE talisman est un rite écrit, un élément d'une technique maraboutique dite *hantum*¹⁰. Le TIREYZE talisman doit être enfermé dans une boîte ou un étui en cuir, parce que ce métal est réputé plus propre à conserver la vertu des charmes. De même, le TIREYZE talisman doit être accroché à un arbre, ou rapporté au malade qui devra le porter pendant quelques jours, puis le brûler ou l'enterrer suivant les conseils du Marabout.

Le procédé maraboutique thérapeutique est utilisé dans un but protecteur, mais surtout pour les enfants en raison des dangers auxquels ils sont exposés.

Ainsi donc, nous constatons que le TIREYZE talisman est le moyen par lequel le marabout véhicule son don, sa bénédiction, et par lequel sa clientèle aussi reçoit la guérison souhaitée.

La prescription de TIREYZE Talisman ou amulette (gris-gris)

La résolution de problème par cet ensemble de pratiques symboliques, soit par des incantations écrites, ou orales soit par d'autres techniques maraboutiques, est une réalité incontestable dans le milieu rural et urbain c'est-à-dire dans la société nigérienne toute entière. Ces procédés thérapeutiques font partie de la culture locale. Ils sont bien tissés dans la vie quotidienne, ils sont enracinés dans les traditions, ils font partie de l'ordinaire journalier. Donc, il est inutile de chercher à comprendre et à expliquer concrètement et rationnellement leur logique ; car

⁷ Il faut savoir que l'islamisation de l'Afrique au IX^e siècle n'est pas le premier contact des africains avec l'écriture, bien avant des peuples s'exprimaient par écrit à travers leurs langues. C'est le cas des Touaregs, leur langue « Tamajaq ». L'écriture syllabique de vaï en Sierra-Leone a servi à rédiger des textes.

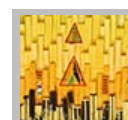
L'histoire de l'islamisation de l'Afrique est répartie sur trois zones:

La zone sahelo-soudanaise, situé à l'Est de la Mauritanie jusqu'au Soudan. Début d'islamisation qui remonte au 9^e siècle. On trouve dans cette zone les premières traces de l'écriture arabe gravée avec des épitaphes des personnages royaux du 11^e au 13^e siècle dans la région de Gao (Mali).

⁸ Moumouni (S.), *Soufisme et réforme sociopolitique et culturelle en Afrique, vie et l'oeuvre du Shaykh Uthman dan Fodio 1754 - 1817* Thèse, Université Bordeaux3, P389, 2003

⁹ En effet, lors des journées de IRHT novembre 1998 HAMES (C.) (C.N.R.S dans son exposé sur les manuscrits africains en écriture arabe, a réduit les manuscrits africains en caractères arabes aux talismans, d'après lui : « Il suffisait d'aller sur une décharge à Dakar pour s'en procurer ».

¹⁰ Mot en langue zarma, s'agissant d'écriture, ici c'est une incantation manuscrite dont le principe est le port. Que ce soit sur une galette, sur un œuf, sur une pelure d'oignon, sur une assiette, sur un bol... on absorbe l'écriture pour l'assimiler.



il semble que le marabout guérisseur ou sauveur lui-même se trouve incapable de démontrer et de justifier l'ensemble des maillons de la chaîne pour lesquels la volonté divine sollicitée se transforme en la réalisation de son vœu, il répond souvent « *Allâh a-‘alam* »¹¹ (Dieu seul le sait).

Cependant, si on regarde ces pratiques symboliques de l'intérieur, on peut remarquer qu'elles ont une logique propre. Elles ont en fait une logique d'ordre spirituel. Cette logique thérapeutique est efficace au niveau psychologique, c'est-à-dire dans la mesure où elle parvient à redonner espoir au malade, à le persuader que son état de santé va s'améliorer, à ranimer en lui la volonté de guérir. La présence même du Marabout¹² auprès du patient est déjà une guérison en soi.

On remarque que la préparation par le thérapeute traditionnel d'un talisman par exemple est « censé reposer sur le fait de savoir demander à Dieu (...). Or, demander à Dieu, c'est établir avec lui une communication médiatisée »¹³. « Le savoir maraboutique est alors fondé sur la détention d'un code à l'accès réglé par divers grades d'initiation et diverses procédures rituelles qui en constituent les formes de mise en œuvre. »¹⁴

En fait, le marabout guérisseur qui soigne ses malades par des traitements traditionnels à partir de talisman manuscrit tente enfin de le réinsérer dans son groupe par le vécu, l'ordinaire, (l'incantation symbolique). Le professeur Colomb écrivait : « la maladie est compréhensible par tous. L'action thérapeutique déjà engagée par l'interprétation partagée, vécue par tous propos au malade par ses techniques et ses procédures ; la réintégration dans l'ordre social par un cheminement symbolique qui, des symboles archaïques et personnels-indices de maladie, conduit aux symboles socialisés. »¹⁵

Pratiques, techniques et usages du TIREYZE manuscrit

Selon Constant HAMÈS: « La magie à écriture islamique connaît de nos jours un succès de librairie considérable. Mais qui peut en faire usage, et comment? À partir de données provenant d'Afrique occidentale et de la littérature islamique historique, l'analyse essaie de montrer que l'élément déterminant de l'activité magique se situe dans la confrontation et l'intrication des rôles au cours de la consultation donnée par le magicien à son client. L'absence de tabou dans l'expression des besoins et la recherche exclusive d'efficacité aboutissent à des positions caractéristiques de ce type de magie vis-à-vis de la morale et de la religion ambiantes. »¹⁶

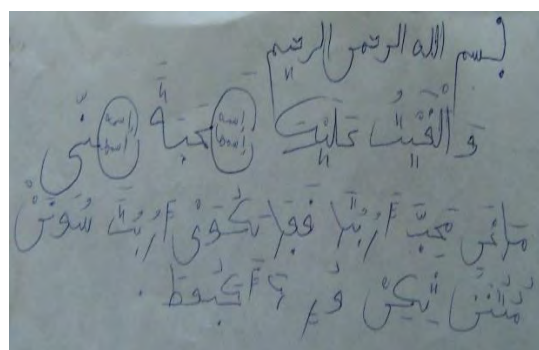


Figure 1.

Exemple d'amulette en manuscrit TIREYZE écrit en caractères arabes que le Marabout remet à Lawali.

Exemple de consultation N°1 :

Le Marabout

Le marabout nomade Malam Alasan âgé de 49 ans, maître du Coran.

Le client : Lawali est un jeune homme âgé de 25 ans résida à Niamey (milieu urbain).

¹¹ Ibn Qaiyyim al-Jawzîya (1292-1350), l'a signalé dans son ouvrage sur *La médecine du Prophète (at-tibb an-nabawî)*. Parmi les «écrits» qu'il préconise, se trouve celui-ci, pour faciliter les accouchements laborieux (*li-usr al-wilâda*).

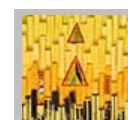
¹² Ne pas confondre ce Marabout qui possède un important savoir spirituel mystique et les autres qui cherchent à s'enrichir ou à trouver un moyen de subsistance par le biais du maraboutage. Ces derniers sont d'anciens talibés des grands Marabouts, ils possèdent une connaissance académique incomplète. Ils ont souvent abandonné le maître au cours de leur formation Coranique.

¹³ Dans ce conte aussi l'invocation ne manque jamais son objectif, si les conditions requises pour la réaliser sont réunies.

¹⁴ Blaise (N'd.), *un regard noir*, Paris Autrement. 1984, p. 168. .

¹⁵ Cité par IFRAH (A.), le Maghreb déchiré. Paris, Ed, la pensée sauvage, 1980. p.38. .

¹⁶ Hamès, (C.), 1987, «Taktub ou la magie de l'écriture islamique. Textes soninké à usage magique», *Arabica*, XXXIV, fasc. 3, nov. 305-325. Voir également, Hamès Constant et Alain Epelboin, 1992, «Trois vêtements talismaniques provenant du Sénégal (décharge de Dakar-Pikine)», *Bulletin d'Etudes Orientales*, «Sciences occultes et islam», Tom XLIV, Damas, 217-241.



L'événement :

Le témoignage d'un client qui a rencontré Malam Abou après un échec auprès d'une fille qu'il a beaucoup convoitée.

Après l'obtention de son BTS en électronique, Lawali a ouvert un atelier de maintenance et reçoit plus d'une dizaine de clients par jour. Il a fait connaissance d'une fille dont il est tombé amoureux. Son malheur a commencé le jour où il lui a déclaré son amour car les choses ont mal tourné. Lors d'une discussion entre amis autour du thé, Lawali a préféré se confier à un de ses amis pour se soulager. Son ami a parlé d'un marabout nomade, du Malam Alasan, venu d'Agadez, qui réside dans leur quartier. Les deux amis ont alors décidé d'aller le consulter. Lawali fut accueilli par le Marabout malam Alasan et il lui expliqua l'objet de sa visite. Malam Alasan lui remit le manuscrit ci-dessus, qui désigne le pouvoir d'être aimé et lui expliqua la méthode d'utilisation.

Description et transcription :

«*Bism Allâh al-rahmân al-rahîm, Wa al-qaytu alayka mahabbatan minnî*»¹⁷ (Au nom de Dieu clément et miséricordieux. Et, J'ai répandu sur toi une affection de ma part, afin que tu sois élevé sous mon œil). Le client Lawali nous explique comment le Marabout a confectionné l'amulette « le marabout a écrit le verset; il a ouvert le « mim » de maḥaba (amour) et celui de minnî et a écrit le nom de la fille sur une tablette en bois. Il l'a lavée et m'a remis l'eau bénite que j'ai bue ». Lawalai est resté dans une période d'essai sans avoir de résultat satisfaisant. Il est retourné chez son marabout pour lui dire que « ce n'était pas une réussite. Quand elle m'a accepté, cela n'a pas duré et je me suis retrouvé dans la situation initiale, ce qui m'a totalement découragé, et j'ai laissé tomber ». Lawali fait alors un geste à son Marabout. « Au tout début le travail de mon marabout a marché et après ça a échoué et c'est pour cela que ma récompense a été modeste puisque je lui ai remis une somme de 50.000Fc »

Exemple de consultation N°2 :

Le Marabout

Le marabout nomade Malam Habou, âgé 37 an, connaissance du Coran et fiqh jurisprudence.

Le client :

¹⁷ Sourate XX. Verset 38. « Le marabout Malam Alasan était retissant à l'explication de la phrase qui suit le texte coranique expliqué ci-dessus. Nous n'avons pas pu le traiter puisque le langage du texte en caractères arabes n'était pas compréhensible. »

Nassirou est un homme d'une cinquantaine d'années résidant à Maradi (milieu urbain).

L'événement :

Depuis une décennie, Nassirou s'est lancé dans la politique, où il milite dans l'opposition. Mais il est toujours inconnu sur la scène politique et cela ne le satisfait pas.

Lors d'un débat politique, il fait comprendre à un ami son intention de quitter son parti pour rejoindre le parti au pouvoir. Surpris, son ami veut en connaître la cause. Nassirou lui fait comprendre qu'il en a assez d'être toujours anonyme et qu'il veut lui aussi émerger. Son ami lui propose alors d'aller consulter un jeune Marabout nomade, du nom de malam Habou dont il a fait connaissance lors d'un de ses voyages à Agadez. Nassirou invite le marabout malam Habou à Maradi. Après un entretien en tête à tête, le Marabout prend acte et lui promet de l'assister. L'amulette ci-dessous qui désigne le pouvoir pour émerger dans la politique en est l'exemple illustratif.

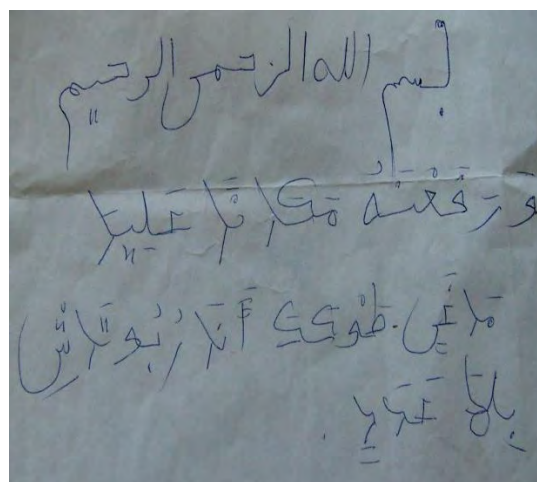


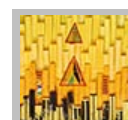
Figure 2.

Description et transcription :

«*Bism Allâh al-rahmân al-rahîm, Wa rafa 'anâ-hu makânan 'Aliyyâ...*»¹⁸ (Au nom de Dieu clément et miséricordieux. Et nous l'élevâmes à un haut rang.)

Le Client lui-même nous relate ici comment il l'a utilisée ainsi que le résultat atteint:

¹⁸ Sourate XIX. Verset 56. « Le marabout Malam Habou était retissant à l'explication de la phrase qui suit le texte coranique expliqué ci-dessus. Nous n'avons pas pu le traiter puisque le langage du texte à caractère arabe n'était pas compréhensible. »



« Le Marabout écrit le verset ci-dessus plusieurs fois sur une tablette en bois qu'il lave peu après. Puis il me remet l'eau bénite que je bois à plusieurs reprises: une semaine ? dix jours ? deux semaines, je ne m'en rappelle pas ». Nassirou a qualifié le travail de son marabout de « réussite »: « Après l'application de cette amulette, qui a coïncidé avec les élections municipales dans mon pays, j'ai été élu conseiller, puis maire dans ma localité ». Nassirou a récompensé son marabout « Bien que je considère la récompense comme un secret, je peux vous dire que je lui ai payé un véhicule et je lui ai proposé de retourner vivre définitivement avec moi. Une proposition qu'il a, sur-le-champ, rejetée ».

En cas d'échec¹⁹, le Marabout malam Habou évite son client et lui fait comprendre que ce n'est pas de sa faute: « en réalité, je n'ai jamais été l'objet d'échec d'un travail, même difficile. Mais tu sais, ce que les marabouts en général ignorent, c'est le moment propice pour implorer Dieu. Car il y a des moments où, si tu implorés Dieu, il va sans doute exaucer. De plus, avant de travailler pour quelqu'un, je fais d'abord une retraite spirituelle qui me permet de savoir la situation. Quand le travail sera exaucé il est relatif aux étoiles, si les étoiles sont formidables, le travail sera réussi. Lire les signes dans les étoiles n'est pas donné au plus grand nombre des marabouts, ce qui explique les échecs de certains. » Le Marabout ne cesse de nous parler de son rôle dans la société : « Avant tout je suis un guérisseur et par mon action positive sur les choses je compte trouver une récompense auprès de mon créateur », puis il exprime son amour pour ce métier « Tu sais tout travail par lequel tu arrives à gagner ton pain, tu ne peux plus parler d'avantages car il représente tout pour toi, voilà ce que je peux dire. » « J'ai beaucoup de clients; leurs problèmes varient en fonction des périodes. Tantôt ce sont les riches qui ont plus de problèmes, tantôt ce sont les politiciens, et souvent les pauvres. » Il est difficile de spécifier quelles catégories sociales professionnelles nous sollicitent le plus:

« En fait, j'ai une qualité propre, je n'ai jamais discuté du prix avant ou après le travail. Je laisse aux clients le libre choix, car si un client se présente à moi, je vois en lui quelqu'un qui a vraiment besoin d'être aidé et je l'aide en fonction de ses moyens ».

Exemple de consultation N°3:

¹⁹ Entretien avec le Marabout Malam Habou.

Le Marabout : Malam O'Umar de la tribu Ikadammatan, âgé de 42 ans avec une connaissance du Coran limitée.

La clientèle : Dawda²⁰ était élève en 3ème année de collège de la ville de Niamey

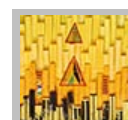
L'événement : Tout en étudiant les week-ends et le jour férié, Dawda aide son père dans le commerce. Subitement Dawda s'abstient d'aller à l'école, il a l'idée de faire du commerce. Son père n'accepte pas qu'il abandonne l'école, mais Dawda ne veut plus écouter son père et ce dernier l'a renvoyé de son commerce. Dawda veut apprendre le métier de soudeur, et a un chef qui va le former. Au cours de sa formation Dawda quitte l'atelier pour ne plus être dépendant de quelqu'un et se lance dans le commerce.

Dawda avait auparavant économisé un peu d'argent lorsqu'il aidait son père dans le commerce. Il loue une boutique près du marché et négocie avec un grand commerçant qui lui donne des marchandises à vendre. Au bout de deux à trois ans Dawda peut rembourser le commerçant. Il est le propriétaire de la boutique. Dawda se lance dans le projet du mariage; après 6 ans de mariage, il a 3 femmes et 6 enfants ; la première femme a 3 enfants, une fille et deux garçons, la deuxième a 2 filles, enfin la troisième a un garçon. Son commerce va très bien, il a beaucoup de clients, et va lui-même commander ses marchandises à l'extérieur du Niger, notamment en Europe et à Doubaï...

Mais, Dawda subit, dans son commerce, une grande épreuve. Ses clients le quittent, son commerce périclité et il n'arrive plus à supporter cela. Un de ses clients le dirige chez un marabout de la tribu Ikadammatan, Malam O'Umar dans le quartier Zongo, Malam O'Umar le reçoit dans sa localité. Après avoir raconté son problème au marabout, ce dernier lui écrit cette amulette ci-dessous sur un papier blanc. L'amulette sert à avoir beaucoup de clients dans le commerce.

- Voir ci-dessus l'extrait d'amulette en caractère arabe.

²⁰ Nous l'avons rencontré par l'intermédiaire d'un commerçant qui était son ami. Il réside au quartier Boukoki.



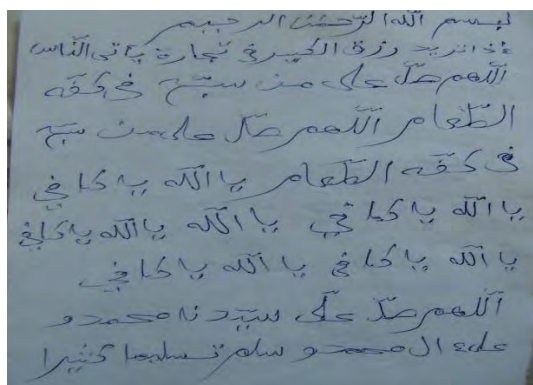


Figure 3.

Description et transcription :

«Bism Allāh al-rahmān al-rahīm. idjā turīd rizq al-kabīr fī tijāra ya'tī a-nāss. . Allā huma Ṣali alā man sabaha fī kaffihi al-ta'ām Allā huma Ṣali Alā man sabbaha fī kaffihi A-ta-ām. Yā Allāh yā kâfi ; Yā Allāh yā kâfi ; Yā Allāh yā kâfi ; Yā Allāh yā kâfi ; Yā Allāh yā kâfi. Allā huma Ṣali alā sayidinā Muḥammad wa-'alā 'āli Muḥammad wasalim taslīman kathīran. »

(Au nom de Dieu clément et miséricordieux. Si vous voulez vous enrichir dans vos commerces, avoir beaucoup de clients. Dieu prie pour celui qui invoque, en lui mettant un plat dans la main. ô Dieu, ô le recours. Dieu prie pour le prophète et les compagnons du prophète avec beaucoup de prières. Dawda lui remet une somme de 15000fc « Avant que le marabout enveloppe le manuscrit, il m'a envoyé chercher une feuille d'un arbre qui possède une grande ombre et sous lequel les gens s'assoient quotidiennement. Il m'a expliqué de choisir en dessous de l'arbre une feuille tombée et de la lui ramener. Quand j'ai apporté la feuille, il l'a découpée en petits morceaux et la pliée avec le papier manuscrit, puis il l'a enveloppée avec un tissu blanc et l'a attachée avec un fil de coton. Ensuite, il me l'a donnée en m'expliquant de l'attacher au dessus de la porte principale de ma boutique ».

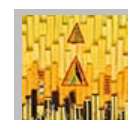
Après 3 à 4 jours mes anciens clients ont commencé à revenir et les commandes aussi. Je suis parti immédiatement revoir le Marabout pour lui remettre une enveloppe d'un million de Fcfa.

Exemple de consultation N°4:

Le Marabout : Malam AbdAllāh, de tribu Ikadammatan, âgé de 46 ans connaissance du Coran limitée.

La clientèle : Mamou, commerçante du grand marché de Niamey, âgée de 39 ans, habite dans le quartier Yantala de Niamey.

L'événement : Mamou est une commerçante du grand marché de Niamey. Son mari l'a quittée pour travailler en Allemagne. Elle a 4 enfants à sa charge. Lorsqu'il commence à travailler, il envoie chaque mois de l'argent pour sa femme et ses enfants. Cela dure 2 ans, puis Mamou n'a plus de nouvelles de son mari. Elle se débrouille plutôt, elle réussit avec le peu qu'elle gagne dans son commerce, pour nourrir ses enfants. Elle se renseigne par ci par là pour avoir des nouvelles de son mari ; parfois on l'informe que son mari se trouve en France, en Belgique. Elle n'arrive plus à comprendre et n'a plus confiance. Le problème de Mamou dégénère à cause de ses déplacements pour avoir des nouvelles de son mari, elle n'arrive plus à assurer son commerce et à nourrir ses enfants. Une amie de Mamou la guide chez un marabout Malam Abd Allāh de Ikadammatan. Ce qui la préoccupe le plus, c'est de savoir si son mari est vivant. Mamou nous raconte son entretien avec le marabout « Le marabout m'a reçue dans sa petite chambre décorée de peaux de lions et de serpents. Il a fait un travail mystique en ma présence pour voir, avec le sable, si mon mari était vivant. Peu après, les traces de sable lui montrent que mon mari est vivant. Quelle joie ! Je lui ai immédiatement donné tout ce que j'avais : une somme de 13.000fc. J'ai été très contente de la nouvelle. Je voulais aller plus loin avec le Marabout et qu'il me fasse un autre travail pour que mon mari, Idrissa, revienne à la maison ». Pour commencer le travail, le Marabout réclame 30.000fc pour les matériels de travail. « J'ai cherché à avoir des crédits, il me fallait 10.000fc pour ce travail. Par la grâce de Dieu un ami de mon mari, commerçant, m'a remis la somme, je suis partie régler le 30.000 et j'ai rajouté 20.000 pour l'encourager ». Le marabout a pitié de Mamou et ne la fait pas payer. Mais il lui dit que s'il réussit, elle pourra le récompenser selon ses moyens. Il donne sa parole à Mamou qu'elle aura une solution à son problème dans une à deux semaines. Le Marabout s'engage dans le travail et fait une retraite spirituelle pendant trois jours : il utilise cette amulette en manuscrit qui contient le pouvoir pour faire revenir le mari de Mamou.



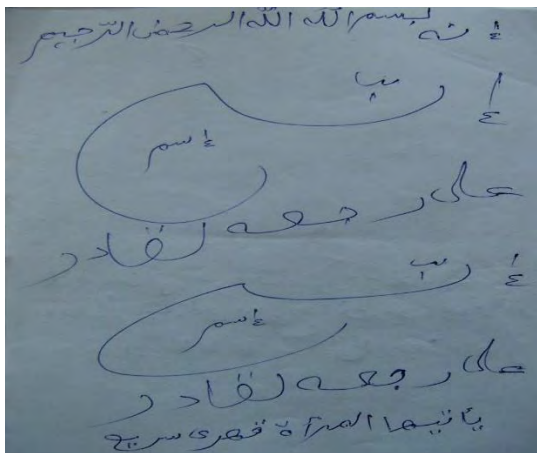


Figure 4.

Exemple de consultation :

«*Bism Allâh al-rahmân al-rahîm, Innahu Allâ raj-ihî laqâdir ; Innahu Allâ raj-ihî laqâdir. ya`tîhâ al-mar'a qahrâ sarî*»²¹ (Au nom de Dieu clément et miséricordieux Allâh est certes capable de le ressusciter. La femme sera attirée par lui indépendamment de sa volonté).

Le manuscrit ci-dessus est composé de versets Coraniques. Le Marabout le plie et le met dans la bouche d'une poule rouge après lui avoir coupé la tête, ensuite il met cette dernière dans un four. Le marabout s'isole dans sa maison et récite son chapelet. Dix jours après, Mamou a une surprise : « une bonne nouvelle, mon mari Idrissa est arrivé. Grâce à mon mari, je l'ai récompensé avec une somme de 500.000fc. Mon mari lui a donné plusieurs cadeaux ».

Exemple de consultation N°5 :

Koné Saliya est l'un des grands Marabouts nomades de l'Afrique, âgé de 50 ans, marié, il a plusieurs enfants. Sa vie est partagée entre deux pays (Niger Mali). Il vit actuellement à Niamey.

Parmi les clients, nous avons pu rencontrer Zouwera, Ganda et Issaka

L'événement : La vie du Marabout Saliya et ses parcours africains

Saliya Koné²² est l'un des grands Marabouts nomades de l'Afrique, âgé de 50 ans, il est né à Bamako dans le quartier de Drawelela Bolibana . Nous l'avons rencontré par l'intermédiaire d'une connaissance qui venait de lui rendre visite. L'entretien s'est déroulé sur son métier de

maraboutage, pour savoir comment il a appris cette fonction.

Il répond : «Au début, j'ai appris le Coran avec mon père, après j'ai voyagé avec lui à Bamako où il m'a inscrit dans une Medersa « Najaha wa falâh » dans le quartier de Golonina. Après la mort de mon père en 1973 à Bamako, j'avais 12 ans. En 1983 je suis parti au Soudan à la recherche du savoir chez un marabout, dans son école Coranique. C'est à cette époque que je me suis intéressé au maraboutage en fréquentant les marabouts de mon école Coranique. Par hasard j'ai rencontré un grand marabout, spécialiste d'étude islamique en langue arabe qui m'a initié à la fonction du maraboutage. Après, J'ai regagné mon pays pour approfondir ma connaissance du maraboutage auprès des marabouts de la région de «Touba et Brawili»²³ au Mali. Après quelque temps j'ai décidé d'aller voir les marabouts des autres pays au Burkina Faso, en Mauritanie, au Sénégal, au Tchad, en Libye et enfin au Niger. Après avoir regroupé des connaissances maraboutiques, j'ai décidé de faire de cela une activité de ma vie en aidant les gens en cas de besoin en Afrique. J'ai souffert beaucoup en cherchant ce savoir mais maintenant je remercie Dieu qui m'a fait oublier toutes les souffrances que j'ai vécues, je trouve mon gagne pain dans cette activité ».

La rencontre avec les clients du Marabout nomade Koné***Zouwera***

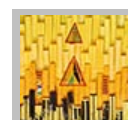
Elle est seule avec son mari, après trois ans de mariage elle n'a pas eu la chance d'avoir d'enfant. Elle a consulté plusieurs médecins dans la ville sans résultat, et essayé notamment la médecine traditionnelle et sans résultat. Elle s'inquiète beaucoup et n'arrive plus à supporter cette situation. Par hasard Zouwera entendu parler d'un marabout nomade nommé Koné, venant de la région de Tilabéri, elle est allé le consulter. Le marabout lui a fait comprendre qu'il avait déjà soigné un cas semblable, il lui a garanti qu'il allait la soigner. En cas de succès il demandait une voiture. Zouwera lui a promis cela sans problème. Avant de commencer son travail Zouwera explique « le marabout m'a envoyé acheter les matériels de travail, composés d'un petit canari, de quelques feuilles, d'un arbre (...) et de 25000f pour acheter de *hantum hari* ». Voici un extrait du manuscrit d'amulette que le marabout nous a

²¹ Sourate 86. Verset, VII.

²² La majorité de ses clients se trouvent au Niger, il passe la plupart de son temps à sillonner le milieu urbain. Le marabout était solidaire avec

nous, nous l'avons interviewé au sujet de sa vie, de son métier de maraboutage, et de ses clients.

²³ Touba et Barawili sont des grandes villes maraboutiques au Mali.



donné comme exemple. Nous l'avons transcrit en caractères latins. Il est composé d'un verset Coranique, selon lui contenant le pouvoir pour une femme d'avoir des enfants.

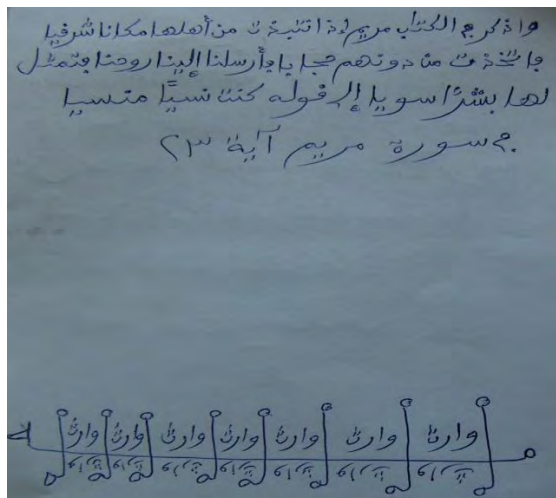


Figure 5.

Descripton et transcription :

«Wadjkur fi al-kitâb Maryam idj-intabadjat min ahlihâ makânan Sharqiyâ. Fat-takhadjate min dû-nihim hijâban fa-arsalnâ ilaynâ rûhanâ fatamathala lahâ Basharan sawiyyâ, ilâ qawlihî kunta nasiyyan mansiyâ. Fî surati maryam `âya 32.»²⁴ (Mentionne, dans le Livre (le Coran), Marie, quand elle se retira de sa famille en un lieu vers l'Orient. Elle mit entre elle et eux un voile. Nous lui envoyâmes Notre Esprit, qui se présenta à elle sous la forme d'un homme parfait; jusqu'à avant que je fusse oubliée d'un oubli éternel !)

Lorsque Zouwera a apporté le matériel, elle explique que « le marabout Koné a écrit le texte ci-dessus sur une tablette de bois, puis l'a dilué dans une tasse l'a versé dans un bidon, il me l'a donné à boire pendant 9 jours. Un mois après je suis partie à la Maternité pour une visite, on m'a dit que c'était le début d'une grossesse. Quelle joie ! Je ne pouvais plus consulter le Marabout pour avoir des conseils car il était en voyage vers le Mali (il semble qu'il avait terminé son travail). J'étais contente mais je m'inquiétais beaucoup de savoir si cela allait se réaliser ou pas. J'ai cherché ses cordonnées partout, je suis arrivé à le joindre. Il m'a dit *calme toi ne t'inquiète pas, ça va marcher* J'ai été un peu soulagée parce qu'il m'avait dit, et j'ai gardé confiance. Après quelques mois, mon rêve s'est réalisé et j'ai éclaté de joie ! J'ai accouché d'un garçon et je ne savais plus comment remercier le Marabout pour le soulager et le récompenser. J'ai décidé de nommer

le nouveau né Saliya, du prénom du Marabout. Je lui ai acheté également comme promis une belle voiture 4X4 et voilà ».

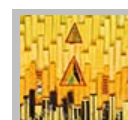
CONCLUSION

Les Marabouts qui confectionne le TIREYZE et Talisman dans la région de Tillabéry sont des guides spirituels très respectés et ayant beaucoup d'influence. Nombreux sont ceux qui sont réputés avoir des pouvoirs mystiques efficaces (toutes catégories sociales confondues). Les marabouts sont régulièrement consultés par une frange importante de la population du Niger. Ils sont consultés pour demander conseil au moment d'une décision importante pour invoquer la chance grâce à quelque pratique mystique ou pour éloigner le mauvais sort partir des Tireyzés manuscrits de talismans. C'est d'ailleurs souvent la première explication qui vient à l'esprit lorsque les choses ne tournent pas bien dans la vie de quelqu'un.

BIBLIOGRAPHIE

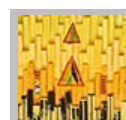
- BESLAY (B.), *Croyances et préceptes parareligieux*, document C.H.E.A.M. N°1003. p.1à9.
- COULON, (C), *Pouvoir maraboutique et pouvoir politique au Sénégal*, Thèse de doctorat en Sciences Politiques, Paris 1, 1976.
- HAMES, (C), 1987, «Taktub ou la magie de l'écriture islamique. Textes soninké à usage magique», *Arabica*, XXXIV, fasc. 3, nov. 305-325.
- HAMES, (C), "Deux aspects du fondamentalisme islamique, Sa signification au Mali actuel et chez Ibn Taymiya", *Archives des sciences sociales des religions*, 1980, L, 2, 117-90.
- HASSANE (M), *La transmission du savoir religieux en Afrique sub-saharienne, exemple du commentaire Coranique à Saayi (Niger)*, thèse de doctorat, Université de Paris IV, 1995, 670 P.
- MEUNIER (O), *Les voies de l'Islam au Niger (pays Hawsa) : production historique d'une culture religieuse dans le Katsina indépendant (Maradi) aux XIX^e et XX^e siècles*, Paris, Institut d'Ethnologie, Musée de l'Homme, 1998, 238 P.
- MEUNIER (O), *Les routes de l'Islam : Anthropologie politique de l'islamisation de l'Afrique de l'Ouest en général et du pays Hawsa en particulier au XIX^e siècle*, Paris, Harmattan, 1997, 204 P.

²⁴ Sourate XIX. Verset, 15.

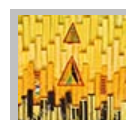


MEUNIER (O), : « Développement du wahhabisme au Niger : analyse socio-historique de la diffusion du mouvement Izâla dans la ville de Maradi », Revue Africaine de Recherche en éducation, 2003 n°1-2.

MOUMOUNI (S), *Soufisme et réforme sociopolitique et culturelle en Afrique, vie et l'oeuvre du cheikh Uthman dan Fodio 1754 - 1817"* Thèse, Université Bordeaux3, P389, 2003.



**SOL, ECOLOGIE, ENVIRONNEMENT ET CLIMAT /
ECOLOGY, ENVIRONMENT AND CLIMATE**



Diversité de l'avifaune des galeries forestières de trois rivières du haut bassin du fleuve Sénégal au Mali

Abdoulaye Sy¹, Youssouf Sanogo², Adama Konate², Ramata Diop²,
Lassana Traore² et Moussa Karambe²

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

²Faculté des Sciences et Techniques, Université des Sciences, des techniques et des Technologies de Bamako, Bamako, Mali

Adresse de correspondance: syconsult02@gmail.com , abdoulaye.sy@ipr-ifra.edu.ml

RESUME : Dans le cadre du projet d'étude de la diversité biologique des rivières du haut bassin du fleuve Sénégal au Mali, un inventaire de la faune avienne a été réalisé dans les galeries forestières bordières des rivières Baoulé, Bakoye et Bafing. L'étude s'est déroulée en 2019 pendant la saison des pluies sur la base des observations directes à l'aide de jumelles et à l'œil nu. Au total, 40 espèces d'oiseaux ont été identifiées dont 23 espèces dans les galeries forestières du Baoulé, 22 espèces dans celles du Bafing et 21 espèces dans celles du Bakoye. Les espèces abondamment distribuées étaient *Tockus nasatus*, *Lagonosticta rufopicta*, *Turdus merula*, *Ploceus cuculatus*, *Streptopelia senegalensis*, *Ardeola ardeola ibis* et *Hirundo lucida*. Les galeries forestières bordières des cours d'eau prospectées joueraient un rôle important dans la conservation des oiseaux. Les espèces d'oiseaux rencontrées pourraient être utilisées comme des bio-indicateurs environnementaux de ces galeries forestières.

Mots-clés: avifaune, diversité, galerie forestière, bassin du fleuve Sénégal, Mali.

SUMMARY: In the project context of the project to study the biological diversity of the rivers of the upper Senegal River Basin in Mali, an inventory of avifauna has been realised in the forest galleries bordering the Baoulé, Bakoye and Bafing rivers. The study was conducted in 2019 during the rainy season based on direct observations with binoculars and the naked eye. Forty (40) bird species have been identified whose 23 species in the Baoulé forest galleries, 22 species in the Bafing and 21 species in the Bakoye. The widely distributed species were *Tockus nasatus*, *Lagonosticta rufopicta*, *Turdus merula*, *Ploceus cuculatus*, *Streptopelia senegalensis*, *Ardeola ardeola ibis* and *Hirundo lucida*. Forest galleries bordering streamed rivers would play an important role in bird conservation. The bird species encountered could be used as environmental bio-indicators of these forest galleries.

Keywords: avifauna, diversity, forest gallery, Senegal River basin, Mali.

I. INTRODUCTION

Les oiseaux sont répartis sur toute la surface de la terre. Ils constituent une composante importante de la biologie et y jouent un rôle majeur [1]. Ce sont des consommateurs d'insectes nuisibles à l'agriculture, de dissémination des graines pour la reforestation et la pollinisation des plantes, etc. [2], l'importance des oiseaux est multidimensionnelle. Ils sont une source non seulement de plaisir esthétique en ajoutant de la vie, du son et de la couleur à notre existence, mais aussi une source de croissance économique, fournissant le revenu et la motivation pour la conservation à travers l'écotourisme avec des valeurs écologiques indéniables.

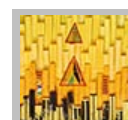
Déjà en 2017 BirdLife [3] attirait l'attention de la communauté internationale sur les menaces qui pèsent sur la faune avienne. Sur un total de 11 122 espèces d'oiseaux identifiés dans le monde entier, le quart soit 2 477 espèces se trouvent en Afrique. Il existe 276 des espèces d'oiseau en Afrique sont mondialement menacées d'extinction parce qu'elles

ont des populations et/ou aires de répartition limitées et/ou en déclin [3].

Les oiseaux constituent des indicateurs biologiques de valeur pour apprécier certains types de perturbations du milieu naturel. De ce fait, ils peuvent être des bio-indicateurs fiables des galeries forestières [4].

Au Mali, l'avifaune compte au moins 640 espèces d'oiseaux y compris les espèces migratoires paléarctiques [5]. On les rencontre dans tous les milieux naturels parmi lesquels les galeries forestières bordières des cours d'eau. Ces galeries forestières sont des zones naturelles de conservation de la faune avienne en raison de leurs écosystèmes particuliers le long des cours. Elles sont considérées comme des zones de conservation des habitats et des espèces d'oiseaux [4]. L'avifaune du Mali est surtout connue à travers les sites RAMSAR du Delta Central du Niger [6, 7 et 8] du Lac Magui et des aires protégées [7 et 9].

Dans le cadre de l'étude de la diversité biologique des rivières du bassin supérieur du fleuve Sénégal au



Mali, nous avons mené l'inventaire systématique des espèces d'oiseaux dans les galeries forestières bordières des rivières Bakoye, Baoulé et Bakoye pour enrichir le répertoire des oiseaux des galeries forestières. L'étude a été effectuée en 2019 pendant la saison des pluies sur base des observations directes à l'aide de jumelles et à l'œil nu.

II. MATERIEL ET METHODES

2.1. Sites

Les cours d'eau prospectés sont les rivières Bakoye, Baoulé et Bafing dans le cours supérieur du fleuve Sénégal au Mali. Ces trois rivières forment un réseau hydrographique particulier. La rivière Bakoye, long de 400 km environs et un bassin versant de 85 000 km², prend sa source dans le massif du Fouta-Djalou en Guinée et traverse les monts mandingues. Au Mali, elle reçoit en rive droite, son affluent

principal, le Baoulé, et atteint à Bafoulabé le cours de la rivière Bafing, auquel il s'unit pour former le fleuve Sénégal. La rivière Bafing, avec un parcours de 500 km pour 33 000 km² de bassin versant, prend sa source aussi en Guinée. La rivière Baoulé, long de 500 km et un bassin versant de 65 000 km² prend sa source dans les monts mandingue au sud-ouest au Mali près de la frontière guinéenne.

Les sites ayant fait l'objet d'inventaire des oiseaux étaient : Barrage de Manantali, sur le Bafing ; Badala/Touramagan tiguéda, Camp jeunesse de Toukoto sur la Bakoye ; Pont/Badala sur le Baoulé et les Confluences Baoulé-Bakoye et Bakoye-Bafing (Bafoulabé). Ces sites ont été choisis en fonction de leur accessibilité et des informations reçues auprès de la population et géo-référencés à l'aide d'un GPS Garming 64 (Figure 1).

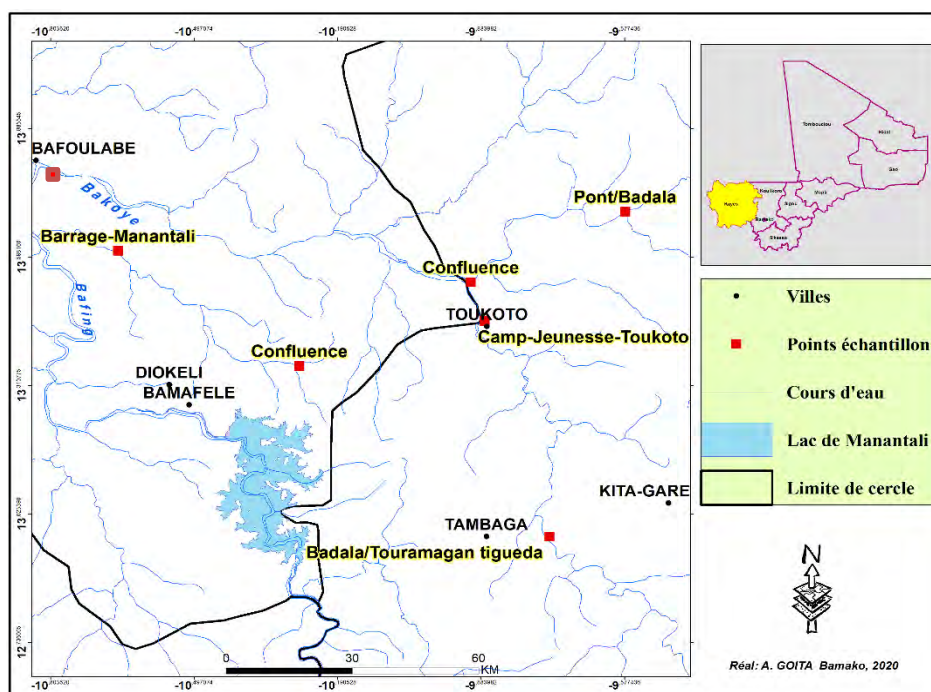


Figure 1 : Localisation des sites prospectés lors de l'étude

2.2. Méthodes

Les observations faites sur le terrain étaient directes à l'aide des jumelles Olympus et Binocular ou à l'œil nu sur les sites retenus. Elles ont lieu le matin et le soir dans un rayon de cinq (5) à dix (10) km dans les galeries forestières bordières à partir des cours principaux des rivières. Cinq (5) à dix (10) transects perpendiculaires à chaque cours d'eau, 150 m de long chacun et distant de 500 à 1000 m sont matérialisés pour l'observation des oiseaux.

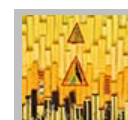
Le déplacement se faisait à pied le long du cours d'eau pour mieux observer les oiseaux dans la galerie forestière. L'identification des espèces s'est faite selon la clef de détermination [9] en actualisant les noms à l'aide de la base de données sur les oiseaux [10]. Les oiseaux rencontrés étaient

identifiés, comptés et rangés en familles, genres et espèces. Certaines espèces ont été photographiées à l'aide d'un appareil photo numérique Nikon B500.

2.3. Plan d'analyse des données

Les données recueillies sont saisies sur Excel version 2017 pour calculer les indices de diversité suivants :

- la richesse spécifique : elle correspond au nombre d'espèces recensées. Elle représente le nombre d'espèces rencontrées lors de l'inventaire ;
- la diversité spécifique qui mesure la répartition de l'abondance (effectif et biomasse) entre les taxa. Il est estimé par l'indice de diversité spécifique de Shannon qui varie de 0, pour une seule espèce, à $\log_2 S$ lorsque que toutes les espèces ont la même abondance ; sa formule est $H = -\sum P_i \log_2 P_i$



où P_i = proportions des individus de l'espèce i dans l'ensemble des individus du peuplement ; i = indice représentant une espèce dans l'ensemble du S espèces recensées dans la communauté, i variant de 1 à S ; S = richesse spécifique, traduisant la qualité d'organisation de la communauté ;

- la fréquence définie ici est le nombre d'apparition d'une espèce sur le nombre total de toutes les espèces observées dans les captures. L'établissement des fréquences permet d'établir la distribution d'abondance. Les espèces sont classées par ordre de fréquence absolue décroissante. La distribution d'abondances est représentée sur un graphique en mettant en abscisse les rangs des espèces et en ordonnée les fréquences correspondantes. Cela permet de voir rapidement sur

le graphique les espèces dominantes et les espèces rares dans les prélèvements.

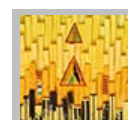
III. RESULTATS

3.1. Composition de l'avifaune

Au total, 40 espèces d'oiseaux ont été inventoriées réparties entre 32 genres et 28 familles et parmi lesquelles, 23 espèces ont été rencontrées dans les galeries forestières du Baoulé, 22 espèces dans celles du Bafing et 21 espèces dans celles du Bakoye. Les familles les plus représentées en espèces étaient les Columbidae (5 espèces) suivies des Meropidae (4 espèces), des Ardeidae (3 espèces). Les familles des Accipitridae, des Bucerotidae et des Hirundinidae étaient avec 2 espèces chacune. Les autres familles étaient représentées par seulement une espèce (Tableau 2).

Tableau 1 : Composition des espèces d'oiseaux rencontrées dans la zone d'étude

Famille	Genre	Espèce	Baoulé	Bakoye	Bafing
Accipitridae	<i>Milvus</i>	<i>migrans</i>	X	-	-
	<i>Accipiter</i>	<i>melanoleuca</i>	X	X	-
Ardeidae	<i>Aigretta</i>	<i>garzeta</i>	X	-	-
	<i>Ardeola</i>	<i>Ardeola ibis</i>	-	X	-
		<i>Ibis</i>	-	-	X
Bucerotidae	<i>Tockus</i>	<i>nasutus</i>	X	X	X
		<i>erythrorhynchus</i>	-	-	X
Charadriidae	<i>Vanellus</i>	<i>gregarius</i>	X	X	-
Columbidae	<i>Streptopelia</i>	<i>senegalensis</i>	X	X	X
		<i>decipiens</i>	X	-	-
		<i>vinacea</i>	-	-	X
	<i>Columba</i>	<i>guinea</i>	X	-	-
		<i>sp. race carneau</i>	-	X	-
Coraciidae	<i>Coracias</i>	<i>abyssinicus</i>	-	-	X
Corvidae	<i>Corvus</i>	<i>albus</i>	X	X	X
Cuculidae	<i>Centropus</i>	<i>senegalensis</i>	X	X	X
Hirundinidae	<i>Hirundo</i>	<i>rustica</i>	X	-	-
		<i>lucida</i>	-	X	X
Leiothrichidae	<i>Turdoides</i>	<i>plebejus</i>	-	X	-
Lybiidae	<i>Lybius</i>	<i>vielloti</i>	-	-	X
Meropidae	<i>Merops</i>	<i>apiaster</i>	X	-	-
		<i>bullocki</i>	X	-	-
		<i>variegatus</i>	-	-	X
		<i>Lamprotornis</i>	X	X	-
Musophagidae	<i>Crinifer</i>	<i>piscator</i>	-	X	X
Nectariniidae	<i>Hedydipna</i>	<i>platura</i>	X	X	-
Numididae	<i>Numida</i>	<i>meleagris</i>	X	-	-
Odontophoridae	<i>Francolinus</i>	<i>bicalcaratus</i>	X	X	X
Pandionidae	<i>Pandion</i>	<i>halieutus</i>	-	-	X
Passeridae	<i>Lagonosticta</i>	<i>rufopicta</i>	X	X	X
Phalacrocoracidae	<i>Phalacrocorax</i>	<i>africanus</i>	-	-	X
Ploceidae	<i>Ploceus</i>	<i>cuculatus</i>	X	X	X
Psittacidae	<i>Poicephalus</i>	<i>senegalus</i>	X	X	X
Pycnonotidae	<i>Pycnonothus</i>	<i>barbarus</i>	X	X	X
Rallidae	<i>Rallus</i>	<i>aquaticus</i>	-	-	X
Sagittaridae	<i>Sagittarus</i>	<i>serpentarius</i>	-	-	X
Scopidae	<i>Scopus</i>	<i>umbreta</i>	-	X	-
Strigidae	<i>Otus</i>	<i>scops</i>	-	X	-
Sturnidae	<i>Lamprotornis</i>	<i>purpureus</i>	X	-	-
Turdidae	<i>Turdus</i>	<i>merula</i>	X	X	X
28	32	40	23	21	22



3.2. Indice de diversité biologique des oiseaux

Les indices de diversités sont représentés dans le tableau 2. La diversité spécifique est plus élevée dans les galeries forestières du Bakoye suivi du Bafing puis du Baoulé soit 3,62 ; 3,53 et 2,97.

L'équitabilité suit cette tendance avec des indices de 0,82 ; 0,79 et 0,66. Pour l'ensemble de la zone étudiée, la diversité spécifique est de 4,11 et l'équitabilité est de 0,77.

Tableau 2 : Indices de diversité des communautés aviaires dans les rivières prospectées

Indices de diversité	Rivières prospectées			
	Baoulé	Bakoye	Bafing	Zone d'étude
H	2,97	3,62	3,53	4,11
Hmax	4,52	4,39	4,46	5,32
E	0,66	0,82	0,79	0,77
RS	23	21	22	40

RS = richesse spécifique ; H = indice de diversité spécifique ; Hmax = indice de diversité maximale ; E= indice d'équitabilité

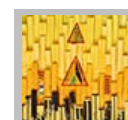
3.3. Distribution d'abondance des oiseaux

Dans la galerie forestière de la rivière Baoulé, *Tockus nasatus* (48%), *Ploceus cuculatus* (13%),

Hirundo rustica (5%) et *Lamprotornis purpureus* (5%) représentaient 71% des oiseaux rencontrés (tableau 3 et figure 2).

Tableau 3 : Distribution de fréquence des espèces d'oiseaux rencontrées dans les galeries forestières de la rivière Baoulé

Espèces	Proportion	Pourcentage
<i>Tockus nasatus</i>	0,48	48
<i>Ploceus cuculatus</i>	0,13	13
<i>Hirundo rustica</i>	0,05	5
<i>Lamprotornis purpureus</i>	0,05	5
<i>Streptopelia senegalensis</i>	0,03	3
<i>Poicephalus senegalus</i>	0,03	3
<i>Vanellus gregarius</i>	0,03	3
<i>Francolinus bicalcaratus</i>	0,02	2
<i>Milvus migrans</i>	0,02	2
<i>Turdus merula</i>	0,02	2
<i>Accipiter melanoleuca</i>	0,02	2
<i>Aigretta garzeta</i>	0,02	2
<i>Merops apiaster</i>	0,02	2
<i>Lagonosticta rufopicta</i>	0,02	2
<i>Corvus albus</i>	0,02	2
<i>Streptopelia decipiens</i>	0,007	0,7
<i>Columbaguinea</i>	0,006	0,6
<i>Centropus senegalensis</i>	0,006	0,6
<i>Merops bullocki</i>	0,006	0,6
<i>Numida meleagris</i>	0,006	0,6
<i>Pycnonothus barbarus</i>	0,006	0,6
<i>Hedydipna platura</i>	0,003	0,3
Total	1	100



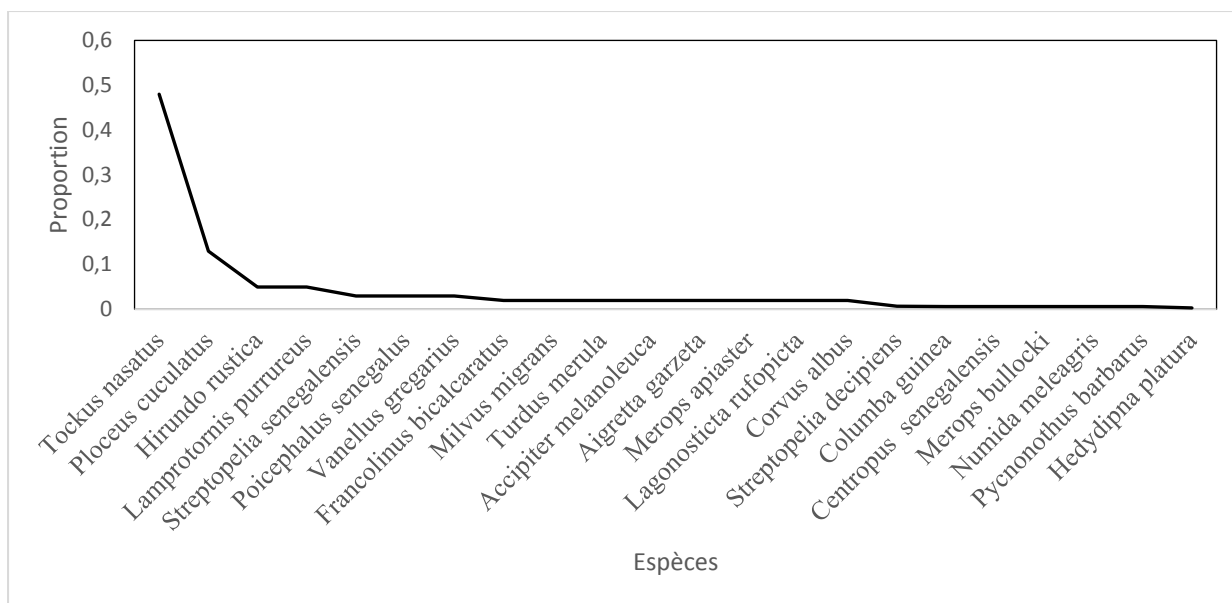


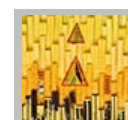
Figure 2 : Distribution de fréquence des espèces d'oiseaux rencontrées dans les galeries forestières du Baoulé.

Par contre, dans la galerie forestière du Bakoye, *Lagonosticta rufopicta* (17%), *Ardeola ardeola ibis* (15%), *Ploceus cuculatus* (14%), *Streptopelia senegalensis* (12%), *Turdus merula* (9%), *Hirundo*

lucida (6%) et *Poicephalus senegalus* (6%) étaient les plus représentées avec plus de 79% des oiseaux observées (tableau 4 et figure 3).

Tableau 4 : Distribution de fréquence des espèces d'oiseaux rencontrées dans les galeries forestières de la rivière Bakoye

Espèces	Proportion	Pourcentage
<i>Lagonosticta rufopicta</i>	0,17	17
<i>Ardeola ardeola ibis</i>	0,15	15
<i>Ploceus cuculatus</i>	0,14	14
<i>Streptopelia senegalensis</i>	0,12	12
<i>Turdus merula</i>	0,09	9
<i>Hirundo lucida</i>	0,06	6
<i>Poicephalus senegalus</i>	0,06	6
<i>Lamprotornis purpureus</i>	0,04	4
<i>Tockus nasatus</i>	0,03	3
<i>Vanellus gregarius</i>	0,03	3
<i>Columba sp. race carneau</i>	0,02	2
<i>Turdoides plebejus</i>	0,02	2
<i>Centropus senegalensis</i>	0,01	1
<i>Crinifer piscator</i>	0,01	1
<i>Fringilla bitorquatus</i>	0,01	1
<i>Pycnonothus barbarus</i>	0,01	1
<i>Accipiter melanoleuca</i>	0,006	0,6
<i>Hedydipna platura</i>	0,006	0,6
<i>Scopus umbreta</i>	0,006	0,6
<i>Otus scops</i>	0,006	0,6
<i>Corvus albus</i>	0,003	0,3
Total	1	100



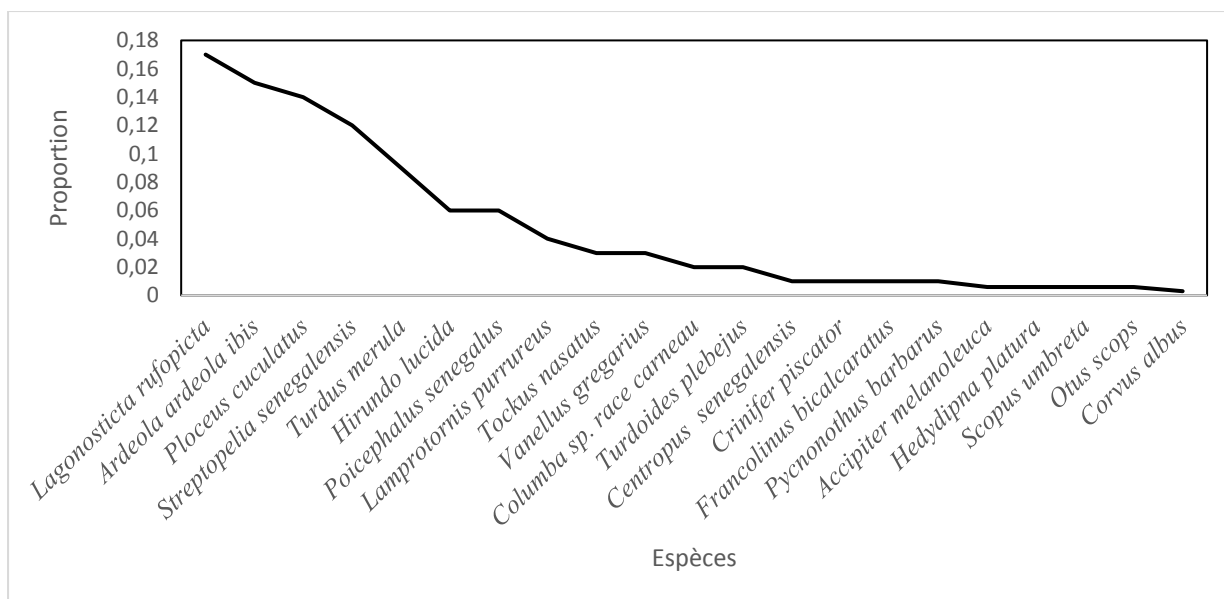


Figure 3 : Distribution d'abondance des espèces d'oiseaux rencontrées dans la galerie forestière du Bakoye

Concernant la galerie forestière du Bafing, *Turdus merula* (20%), *Ardeola ibis* (15%), *Lagonosticta rufopicta* (14%), *Streptopelia senegalensis* (10%),

Hirundo lucida (10%), *Ploceus cuculatus* (8%) et *Phalacrocorax africanus* (6%) représentaient 83% des oiseaux rencontrés (tableau 5 et figure 4).

Tableau 5 : Distribution de fréquence des espèces d'oiseaux rencontrées dans les galeries forestières de la rivière Bafing

Espèces	Fréquences	Pourcentage
<i>Turdus merula</i>	0,2	20
<i>Ardeola ibis</i>	0,15	15
<i>Lagonosticta rufopicta</i>	0,14	14
<i>Streptopelia senegalensis</i>	0,1	10
<i>Hirundo lucida</i>	0,1	10
<i>Ploceus cuculatus</i>	0,08	8
<i>Phalacrocorax africanus</i>	0,06	6
<i>Crinifer piscator</i>	0,03	3
<i>Rallusa quaticus</i>	0,03	3
<i>Tockus nasatus</i>	0,02	2
<i>Tockus erythrorhynchus</i>	0,01	1
<i>Corvus albus</i>	0,01	1
<i>Francolinus bicalcaratus</i>	0,01	1
<i>Pycnonothus barbarus</i>	0,01	1
<i>Streptopelia vinacea</i>	0,007	0,7
<i>Coracias abyssinicus</i>	0,007	0,7
<i>Centropus senegalensis</i>	0,006	0,6
<i>Lybius vielloti</i>	0,006	0,6
<i>Merops variegatus</i>	0,006	0,6
<i>Pandion halieutus</i>	0,006	0,6
<i>Poicephalus senegalus</i>	0,006	0,6
<i>Sagittarius serpentarius</i>	0,006	0,6
Total	1	100



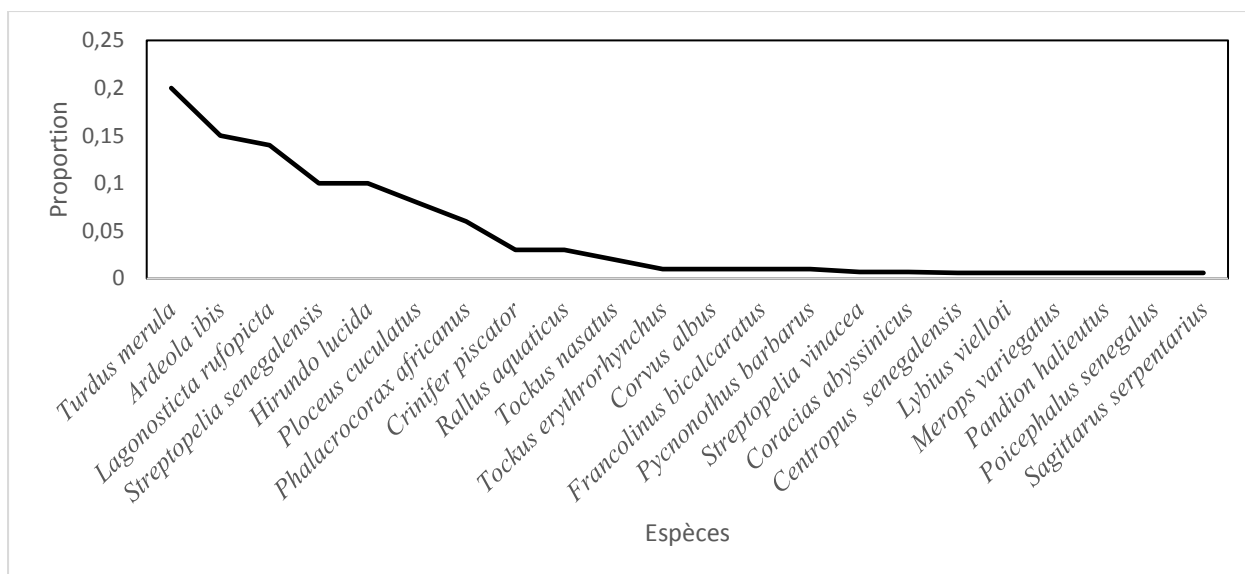


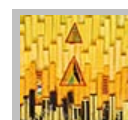
Figure 4 : Distribution d'abondance des espèces d'oiseaux rencontrées dans la galerie forestière du Bafing

Pour l'ensemble de la zone prospectée, les espèces les plus représentées étaient *Tockus nasatus* (17%), *Ploceus cuculatus* (12%), *Lagonosticta rufopicta* (11%), *Turdus merula* (11%), *Streptopelia*

senegalensis (9%), *Ardeola ardeola ibis* (5%), *Ardeola ibis* (5%), et *Hirundo lucida* (5%). Ces espèces constituaient 75% des oiseaux observés (tableau 6 et figure 5).

Tableau 6 : Distribution de fréquence des espèces d'oiseaux rencontrées dans les galeries forestières de la zone prospectées

Espèces	Proportion	Pourcentage
<i>Tockus nasatus</i>	0,17	17
<i>Ploceus cuculatus</i>	0,12	12
<i>Lagonosticta rufopicta</i>	0,11	11
<i>Turdus merula</i>	0,11	11
<i>Streptopelia senegalensis</i>	0,09	9
<i>Ardeola ardeola ibis</i>	0,05	5
<i>Ardeola ibis</i>	0,05	5
<i>Hirundo lucida</i>	0,05	5
<i>Poicephalus senegalus</i>	0,03	3
<i>Lamprolornis purpureus</i>	0,03	2
<i>Vanellus gregarius</i>	0,02	2
<i>Phalacrocorax africanus</i>	0,02	2
<i>Hirundo rustica</i>	0,02	2
<i>Francolinus bicalcaratus</i>	0,02	2
<i>Crinifer piscator</i>	0,01	1
<i>Pycnonothus barbarus</i>	0,01	1
<i>Corvus albus</i>	0,009	0,9
<i>Centropus senegalensis</i>	0,008	0,8
<i>Rallus aquaticus</i>	0,008	0,8
<i>Accipiter melanoleuca</i>	0,007	0,7
<i>Milvus migrans</i>	0,006	0,6
<i>Columba sp. race carneau</i>	0,006	0,6
<i>Turdoides plebejus</i>	0,006	0,6
<i>Aigretta garzeta</i>	0,005	0,5
<i>Tockus erythrorhynchus</i>	0,004	0,4
<i>Merops piaster</i>	0,004	0,4
<i>Hedydipna platyrhynchos</i>	0,003	0,3
<i>Streptopelia decipiens</i>	0,002	0,2



<i>Streptopelia vinacea</i>	0,002	0,2
<i>Columba guinea</i>	0,002	0,2
<i>Coracias abyssinicus</i>	0,002	0,2
<i>Lybius vielloti</i>	0,002	0,2
<i>Merops bullocki</i>	0,002	0,2
<i>Merops variegatus</i>	0,002	0,2
<i>Numida meleagris</i>	0,002	0,2
<i>Pandion halieutus</i>	0,002	0,2
<i>Sagittarius serpentarius</i>	0,002	0,2
<i>Scopus umbreta</i>	0,002	0,2
<i>Otus scops</i>	0,002	0,2
Total	1	100

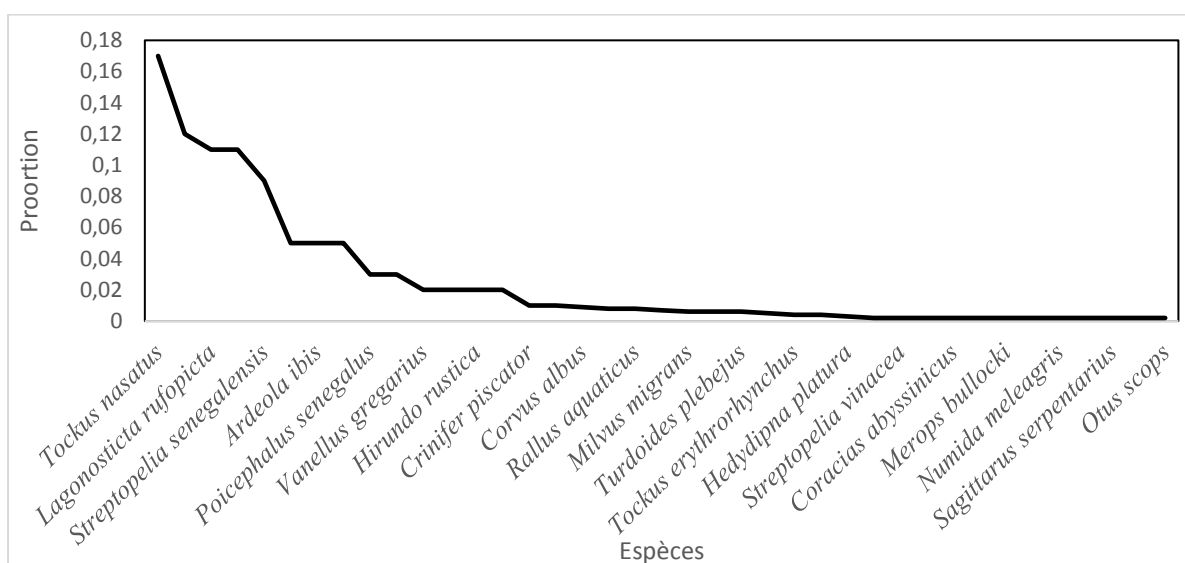


Figure 5 : Distribution d'abondance des espèces d'oiseaux rencontrées dans les galeries forestières la zone prospectée.



Pigeon de Guinée (*Columba guinea*)



Calao à bec rouge (*Tockus erythrorhynchus*)



Tourterelle maillée (*Streptopelia senegalensis*)



IV. DISCUSSION

Les galeries bordières des rivières Baoulé, Bakoye et Bafing abritent une importante faune d'oiseaux qui sont connus du répertoire national de l'avifaune. *Tockus nasatus*, *Lagonosticta rufopicta* et *Turdus merula* étaient les espèces les plus abondantes respectivement dans les galeries forestières du Baoulé, Bakoye et Bafing. A ces trois espèces, s'ajoutent *Ploceus cuculatus*, *Streptopelia senegalensis*, *Ardeola ardeola ibis* et *Hirundo lucida* pour l'ensemble de la zone prospectée.

Parmi les espèces rencontrées, six (6) figurent sur la liste nationale des espèces intégralement protégées. Il s'agit de *Scopus umbreta*, *Sagittarius serpentarius*, *Crinifer piscator*, *Ardeola ardeola ibis*, *Aigretta garzeta* et *Crinifer piscator*. Par contre, les espèces des genres *Streptopelia* et *Columba*, les espèces *Vanellus gregarius*, *Phalacrocorax africanus* et *Francolinus bicalcaratus* sont des gibiers et non protégées.

La diversité des oiseaux dans les galeries témoigne de l'intérêt de cet écosystème pour la conservation de la diversité biologique avienne. Certaines espèces y trouvent abri et nourriture. Par contre, d'autres servent aussi de nourriture à d'autres espèces, dispersent les graines, contrôlent les insectes, pollinisent les plantes et par conséquent modifient l'habitat [2]. Ainsi, ils peuvent contribuer au maintien et à l'amélioration de la diversité biologique des galeries forestières bordières des cours d'eau. Certains auteurs [4] soulignent leur rôle d'indicateur biologique car

Les changements dans les populations d'oiseaux sont souvent le premier indicateur de problèmes environnementaux.

La présence ou l'absence de certaines espèces pourrait être liée à la période de l'étude. En effet, l'inventaire a eu pendant la saison des pluies. Une bande de plusieurs dizaines d'individus de *Tockus nasatus* a été observée en déplacement, certainement en migration, dans la zone de Badala sur la rivière Baoulé à la confluence du Baoulé et de son affluent, la rivière Badinko.

Les résultats de cette étude sont préliminaires. L'inventaire doit être étendu sur les autres saisons de l'année pour confirmer l'absence d'une espèce dans les galeries forestières des zones prospectées, mais déjà les espèces rencontrées constituent une composante non négligeable de la diversité biologique de ces galeries forestières bordières des cours d'eau dans le haut bassin du fleuve Sénégal.

V. CONCLUSION

La présente recherche a permis d'inventorier 40 espèces d'oiseaux dans les galeries forestières des cours d'eau Baoulé, Bakoye et Bafing dans le haut bassin du fleuve Sénégal. Six (6) espèces

intégralement protégées y ont été rencontrées témoignant du rôle important que jouent les galeries forestières dans la conservation de la diversité biologique avienne.

Il devient donc nécessaire d'intégrer les galeries forestières dans le système des aires protégées afin d'asseoir une bonne stratégie de conservation de ces formations forestières en se basant sur les indicateurs de santé environnementale que sont les oiseaux.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Secrétariat Exécutif du Fonds Compétitif pour la Recherche et l'Innovation Technologique (FCRIT) et le Centre National de recherche Scientifique et Technologique (CNRST) pour le financement des recherches sur le terrain, les communautés riveraines et les agents des services techniques des eaux et forêts des localités visitées pour leur accompagnement et assistance lors des inventaires dans les galeries forestières.

REFERENCES

- [1] J. Dorst, Le rôle disséminateur des oiseaux dans la vie des plantes. Documents iredue. inist.fr, 1947, .pp. 106-119 ,4-3
- [2] C.J. Whelan, C.H. Sekercioglu et D.G. Wenny, Why Birds Matter: From economic ornithology to ecosystem services. Journal of Ornithology, 2015, 156, pp. 227-238.
- [3] BirdLife Etat des oiseaux d'Afrique. Indicateurs pour notre environnement en mutation. BirdLife international, 2018, p. 45.
- [4] F.B. Yabi, T.O. Lougbegnon et J.T.C. Codjia, Sélection des espèces indicatrices d'oiseaux des galeries forestières au Bénin (Afrique de l'Ouest) Int. J. Biol. Chem. Sci., 2017, 11(2), pp. 651-669.
- [5] MEADD, Liste des espèces 2019)
- [6] P. Malzy, *La faune avienne du Mali (Bassin du Niger)*. Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, extrait de L'oiseau et la Revue française d'ornithologie, 1962, vol. 32, n° spécial, p. 81.
- [7] O. Girard, J. Thal et B. Koné, Les Dénombrements d'Oiseaux d'Eau en Afrique 1999, 2000 et 2001 (Mali). In *African Waterbird Census / Les Dénombrements d'Oiseaux d'Eau en Afrique 1999, 2000 et 2001*, T. Dodman et C. H. Diagona Eds 2003. Wetlands International Global Series, 2003, n°16, p. 368.
- [8] O. Girard, J. Thal et B. Niagaté, Dénombrements d'oiseaux d'eau dans le delta



intérieur du Niger (Mali) en janvier 1999, 2000 et 2001. *Malimbus*, 2006, 28, pp. 7-17.

[9] G. Bouet, Oiseaux de l'Afrique tropicale (Première partie). Faune de l'union française xvi,

Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Larose, Paris, 1955, p. 412.

[10]. www.avibase.org, 2019.



Etudes des expériences du Projet de Gestion des Ressources Naturelles (PGRN) de 1993-1998 en matière de conservation des eaux et des sols dans le cercle de Kayes : cas de Bongourou, Diakalel, Dinguiralo et Tafassirga

Abdramane Sadio Soumaré

Faculté des Sciences Administratives et Politiques, Université des Sciences Juridiques et Politiques de Bamako
Email : abdrmanesoumare@yahoo.fr; soumareabdrmanesadio@gmail.com

RESUME : Zone à vocation agro-sylvo-pastorale, le cercle de Kayes à l'instar de beaucoup de zones géographiques du Mali souffre considérablement de la baisse des potentialités de production des ressources naturelles. Sa population est essentiellement rurale et l'économie rurale occupe au moins 80% de la population active. La dégradation des écosystèmes naturels, pèse très lourd sur cette population sahélienne (faiblesse de revenus, insuffisance alimentaire, exode rural...). Par conséquent, les besoins pressants et nécessaires des populations pour gérer les ressources naturelles à travers les différents systèmes de productions : agriculture, élevage, forêt, sont obligatoires dans le cercle de Kayes. C'est dans ce contexte là que le Projet de Gestion des Ressources Naturelles (PGRN), était présent dans le cercle de Kayes. L'objectif de cette étude sur la conservation des eaux et sols dans le cercle de Kayes, est de mettre en évidence d'une part les résultats des différentes techniques utilisées par le PGRN pour la conservation des eaux et sols et d'autre part, c'est de montrer l'impact technique, économique de ces actions sur les populations et à la fois sur les ressources naturelles. Pour mener ce travail de recherche, une étude documentaire a été effectuée dans plusieurs structures à Bamako et à Kayes. Des enquêtes quantitatives ont été effectuées auprès des populations des villages sélectionnés. Les cadres du PGRN/Kayes et de certains services techniques de l'Etat ont été concernés par les enquêtes qualitatives. Les résultats suivants ont été obtenus : la réalisation des cordons pierreux, des diguettes en terre et en pierre le compostage, les haies vives, les barrières en fascine, les micro-barrages, ont permis de restaurer les sols et de conserver les eaux. Les populations elles mêmes se sont appropriées de ces techniques pour leur reproductibilité. Des superficies agricoles jadis abandonnées, ont été récupérées, des plages dénudées, ont été reverdies.

Mots clés : Cercle de Kayes, Gestion des Ressources Naturelles, Conservation des Eaux et Sols, Durabilité, Reproductibilité, Participation.

ABSTRACT: An area with an agro-sylvo-pastoral vocation, the circle of Kayes, like many of Mali's geographical areas, suffers considerably from the decline in the potential for producing natural resources. Its population is predominantly rural and the rural economy employs at least 80% of the working population. Desertification, as it must be called, weighs heavily on this Sahelian population (low income, insufficient food, rural exodus ...). To do this, the pressing and necessary needs of people to manage natural resources through the various production systems: agriculture, livestock, forest, is mandatory in the circle of kayes. It is in this context that the Natural Resources Management Project (PGRN) was present in the Kayes district.

The objective of this study on the conservation of water and soils in the Kayes district, is to highlight on the one hand the results of the different techniques used by the PGRN for the conservation of water and soils and on the other hand, it is to show the technical, economic impact of these actions on the populations and at the same time on the natural resources.

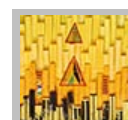
To carry out this research work, a documentary study was carried out in several structures in Bamako and Kayes. Quantitative surveys were carried out among the populations of the selected villages and the PGRN / Kayes and some State technical services executives were involved in the qualitative surveys. The following results were obtained: the production of stony cords, earthen and stone bunds, composting, hedgerows, barriers in fascine, micro-dams, made it possible to restore soil and conserve water. The populations themselves have appropriated these techniques for their reproducibility. Agricultural areas formerly abandoned have been recovered, bare beaches have been revegetated.

Key words: Kayes Circle, Natural Resource Management, Water and Soil Conservation, Sustainability, Reproducibility, Participation.

INTRODUCTION

Pays à vocation agro-sylvo-pastorale, le Mali a une population essentiellement rurale. Si l'économie

rurale qui occupe 80% de la population active, est le moteur du développement, elle est mise à rude épreuve à cause des aléas climatiques en premier



lieu. Et en second lieu, de la baisse des potentialités de production des ressources naturelles. Le Mali n'échappe pas au phénomène récurrent de la sécheresse à l'instar d'autres pays sahéliens. Ce vaste pays à moitié couvert par le désert demeure la cible privilégiée des calamités naturelles : sécheresse cyclique, drame écologique, maladies, famines, etc. auxquels s'ajoutent la pression démographique et l'action de l'homme sur l'environnement. L'effet combiné de ces deux facteurs a sans nul doute conduit à la dégradation des écosystèmes.

Face à ce fléau, des actions spontanées sont menées de part et d'autres, notamment sur le plan national. Dans les années 1970, les pouvoirs publics, ont mis en œuvre une avalanche d'opération de développement rural (ODR). Plus d'une vingtaine sont disséminées à travers le pays. Citons par exemple l'Opération Haute Vallée du Niger (OHVN), l'Opération du développement Intégré de kaarta (ODIK), Opération du Développement de l'Élevage à Mopti (ODEM)... À l'époque, on pensait que ces structures visaient en partie à arrêter la vague de sécheresse mais ces ODR, n'avaient pour vocation que l'autosuffisance alimentaire et la promotion de la culture de rente : coton et arachide. D'ailleurs leurs évaluations ont mis en nu qu'elles n'étaient pas viables et tout au contraire même si elles ont contribué à l'augmentation de la production dans un sens, dans l'autre, on peut dire que ces ODR n'avaient pas pris en compte les préoccupations de l'heure, c'est-à-dire le problème environnemental.

Le développement socio-économique et le problème de la dégradation des ressources naturelles étant intimement liés, le Gouvernement avec ses partenaires au développement a présenté en décembre 1985 un Plan de Lutte Contre la Désertification (PNLCD), qui se présente sous forme de projets de gestion rationnelle des ressources naturelles. Le PNLCD est conçu sur la base d'une approche globale d'utilisation rationnelle des ressources naturelles permettant à la fois une exploitation plus productive du milieu naturel et la sauvegarde de l'environnement avec la participation et la responsabilisation des communautés de base.

La mise en application de cette politique publique fait appel à certains projets, comme le Projet de Gestion des Ressources Naturelles (PGRN) qui a pour objectif l'introduction d'un système rationnel de gouvernance des ressources naturelles à travers la participation ou l'implication des populations à la base.

Dans le cercle de Kayes plus singulièrement dans les villages de Dinguir-Logo, Tafassirga, Bongourou et Diakalèl, le phénomène a atteint un stade parfois irréversible (B. Sissoko, 1995) et (M. Koïta, 1996). Toutes les formes d'érosion y sont associées, laissant des paysages désolés. Le phénomène s'est accru et s'amplifie aussi bien dans l'espace que dans le temps, aggravé en maints endroits par le changement climatique. Des alternances d'inondations

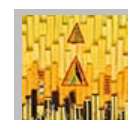
torrentielles et de sécheresses prolongées sont observées. Conjuguées à une action anthropique non contrôlée (incendies, défrichement, surpâturage...), elles rendent le bassin d'alimentation et le réseau d'écoulement très vulnérables au phénomène érosif. Ainsi pour (A. Melalih, 2012), « L'ensemble des conditions climatiques et édaphiques (relatif au rapport entre les caractéristiques du sol et la répartition des animaux et végétaux), fait de la steppe un milieu fragile » Ceci constitue le cas typique de nos zones d'études. La conservation des eaux et des sols est donc indispensable pour protéger les ressources naturelles de ces zones. C'est à la fois une science et une technique de l'utilisation et du traitement de la terre permettant de protéger le sol et d'augmenter en même temps sa productivité (en conservant le sol proprement dit, ces éléments naturels de fertilité particulièrement la matière organique et les engrais qui ont été utilisés par l'homme, ainsi que toute l'humidité naturelle dispensable). (A. Melalih, Op Cite). Après l'atelier de Porto Rico (MOLDON H et HUDSON, 1987) in (ROOSE.É, 1994) une nouvelle approche est née : la gestion conservatoire de l'eau et de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) tente de mieux tenir compte des contraintes paysannes et cherche à valoriser le travail tout en réduisant le risque de l'érosion et en respectant certaines règles. En Afrique (ROOSE.É, 1994) a observé des états de crise environnementale pendant la quelle la vie est si dure que la population est obligée de choisir entre l'émigration vers des lieux plus cléments, ou la modification du système de production léguée par les ancêtres, n'a pas été trop changée.

En parallèle à ces données, le paysan a développé des techniques traditionnelles de conservation de sol et de l'eau dont le nombre élevé et la grande variété attestant d'une adaptation dynamique aux conditions du milieu (ALKARKOURI, et al, 2000).

La dégradation des terres étant un processus continu, une responsabilisation des collectivités territoriales en tant que des institutions de proximité, a été souhaitée et appliquée par le PGRN dans le cercle de Kayes. Un système d'information sur l'environnement en vue de coordonner et d'orienter les diverses initiatives en cours au Mali et d'intégrer les leçons de l'expérience acquise sur le terrain dans le cadre d'une future stratégie nationale de gestion des ressources naturelles, allait permettre aux collectivités territoriales et les services techniques de l'Etat de rester dans la dynamique de la bonne gouvernance des ressources naturelles.

Les stratégies pour une gestion durable des ressources naturelles sont très efficaces. En effet il fut l'un des projets dans le cercle de Kayes qui vient de rompre avec cette pratique classique et rétrograde d'imposition des interventions aux populations concernées pour leur auto-développement.

Pour mieux soutenir les différents systèmes de production agricoles, sylvicoles et pastoraux,



l'emphase a été mise sur deux types d'investissements. Dans un premier temps, il s'agit des actions destinées à arrêter la dégradation du sol, de l'eau et de la végétation naturelle dont l'impact se fera sentir sur la production à court-terme (dans le cas des diguettes sur terre des systèmes de production agricole mixte) au très long terme, réhabilitation de forêts naturelles et restauration des parcours pastoraux dégradés. Dans un second temps des investissements destinés pour les services sociaux (eaux potables hygiène-assainissement). L'accent fut mis sur la participation de la population (homme et femme) qui prennent part, s'intègrent et s'identifient aux programmes proposés relatifs à la gestion des ressources naturelles et la sécurité foncière.

Pour y voir plus clair, les questions ci-après requièrent des réponses susceptibles d'éclairer la lanterne sur quelle manière, la mise en œuvre des mesures de conservation des eaux et des sols, s'est effectuée dans les villages concernés par l'étude.

-Quels sont les types de techniques de conservation des eaux et sols appliqués dans ces villages et les résultats obtenus?

-Quels sont les impacts techniques, économiques sur les populations locales et sur les ressources naturelles des ces actions de conservation des eaux et sols ?

Autant de questions dont cette étude se fixe comme objectifs et d'en trouver les réponses. Ce sujet a comme objectif principal d'étudier les expériences du Projet de Gestion des Ressources Naturelles (PGRN) dans les villages de Dinguira-logo, de Bongourou, Tafassirga et Diakalel dans le cercle de Kayes. Comme hypothèse principale, nous postulons que ce sont à la fois les méthodes biologiques et mécaniques qui ont été appliquées afin d'obtenir les résultats escomptés. Après une présentation des matériels et méthodes, nous allons mettre l'accent sur les types de techniques de conservation des eaux et sols et les résultats qui ont été atteints dans ces villages. Aussi, nous allons montrer les impacts techniques et économiques sur les populations en un premier et en un second lieu sur les ressources naturelles. L'article se termine par une discussion et

une conclusion qui portent sur l'analyse et la synthèse des éléments présentés auparavant.

I. MATERIELS ET METHODES

Dans cette étude, la méthodologie est basée sur la présentation des matériels et de la méthode.

1.1 Matériels

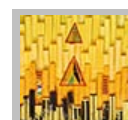
1.1.1 Présentation de la zone d'étude

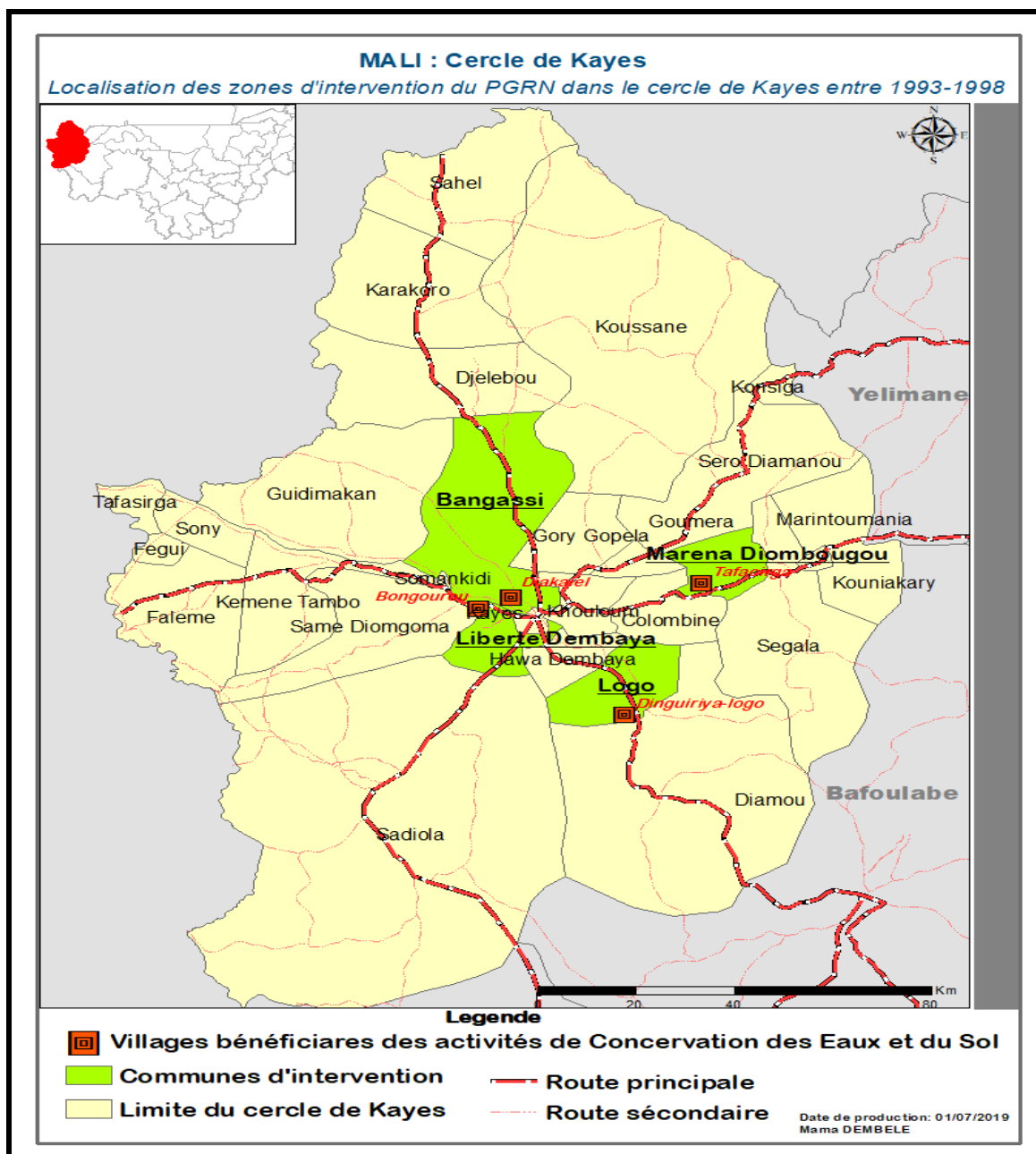
Renaissant des vestiges du Haut Sénégal-Niger, dont il a bénéficié des expériences, le cercle de kayes devrait constituer à ce jour le premier pôle d'attraction du Mali en matière de développement économique social à cause de ses nombreuses potentialités : ressources naturelles, minières et énergétiques. Mais contre toute logique et conformément aux péripéties de l'histoire, la chaîne de développement qui devrait s'étendre de Kayes vers d'autres régions du Mali s'est cassée à son premier maillon. Dès lors la région qui devrait servir d'exemples pour les autres régions dans leur évolution économique et sociale est plutôt citée parmi les zones déshéritées du Mali avec comme tares : enclavement dû à un relief très accidenté, insuffisance de la production agricole à cause de la pauvreté des sols et à la faible pluviométrie. Sa superficie est de 23.772 km², avec une population estimée à 339.567 habitants. Il est situé à 14°27 de latitude et à 11° de longitude ouest Son climat a des fortes amplitudes thermiques, ce qui constitue un grand handicap à la production, agricole.

La population du cercle mène une activité agro-sylvo-pastorale. Cependant, toutes ces activités connaissent des difficultés à cause de la rareté de la pluie, du manque de routes et de l'insuffisance d'encadrement des paysans. Le réseau hydrographique bien que très nombreux, n'est pas du tout exploité par les populations du cercle à cause du manque des moyens financiers pour faire des canalisations afin de faire l'irrigation.

L'appareil photographique a aussi été utilisé pour cette étude afin de révéler les actions de réalisation des actions de conservation des eaux et sols dans les villages concernés.

La carte ci-dessous met en exergue le Cercle de Kayes et les quatre villages d'étude.





Carte N°01 : localisation des quatre villages de notre zone d'étude

Source : Données de terrain, août 1998.

1.2 Méthodes

La démarche méthodologique a porté sur les points suivants :

1.2.1 La recherche documentaire

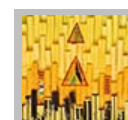
Elle fut l'un des piliers de notre approche. Elle a consisté à collecter les informations utiles à la vérification de nos hypothèses à Bamako et à Kayes. Sachant que la recherche documentaire à elle seule, reste toujours insuffisante pour faire un travail de recherche, nous avons orienté une bonne partie de nos efforts sur les enquêtes de terrain (entretiens approfondis et observations) pour non seulement compléter, mais aussi varier nos sources d'informations.

1.2.2 Les enquêtes de terrain

Elles ont été passées par trois étapes fondamentales, à savoir : la définition de l'aire d'étude et le choix des sites d'enquête ; la constitution du corpus ou population cible ; le choix et l'élaboration des outils d'enquête et la collecte des données.

1.2.2.1 Le choix des sites d'enquête et des échantillons

Les villages de Bongourou, Diakalel, Dinguiralo et Tafassirga ont été concernés par les enquêtes. Ce fut un choix raisonné qui a permis la sélection de ces villages pour les enquêtes. En effet, ils constituent les premiers villages PGRN du cercle de Kayes parmi les douze. Ces villages ont reçu les premières



actions et investissements du projet. Du coup les impacts des actions de DRS/CES et autres types d'investissements sont visibles.

A ce sujet, dans le cadre de la collecte des données, nous nous sommes intéressés aux acteurs suivants : les cadres des services techniques de l'Etat de la ville de Kayes à savoir la direction régionale des eaux et forêts et celle de l'agriculture. Les cadres de ces services, sont impliqués dans la mise en œuvre du PGRN. Par conséquent les informations obtenues auprès d'eux, furent très capitales pour la présente étude. L'équipe d'appui technique (EAT) du PGRN/Kayes, constituée de géographe-aménagiste, sociologue, agronome, forestier, vétérinaire, a été aussi concernée par les entretiens. Dans les villages choisis, ce sont les membres du comité villageois de gestion des ressources naturelles (CVGRN) qui ont été soumis à l'administration du questionnaire.

1.2.2.2 Les outils de collecte et la collecte des données

Les objectifs poursuivis par notre recherche sont forcément quantifiables et descriptives. C'est pourquoi nous avons choisi le guide d'entretien et le questionnaire qui nous ont parus, les techniques les plus adéquates de collecter des données. L'élaboration de ces guides et questionnaire a été faite sous forme de thèmes (des thèmes relatifs aux questions de recherche ou aux hypothèses de recherche.) à explorer, et non pas sous forme de questions à poser dans un ordre ou dans une formulation stricte.

Les thèmes abordés sont : les types de techniques de conservation des eaux et sols appliqués dans ces villages et les résultats obtenus. Les impacts techniques, économiques sur les populations locales et sur les ressources naturelles des ces actions de conservation des eaux et sols.

1.2.3 Analyse des données

Les données qualitatives et quantitatives que nous avons collectées sur le terrain ont été l'objet d'un traitement rigoureux. D'abord, tous les entretiens ont été entièrement et littéralement traduits. Ensuite l'analyse des discours a commencé par la numérotation des entretiens traduits. Nous avons également procédé à un toilettage des entretiens par une relecture minutieuse en écartant les informations inutiles et superflues. En fonction de nos objectifs, nous avons catégorisé nos informations en plusieurs sous-thèmes. Le contenu de chaque entretien a été analysé afin de dégager des idées relatives à ces catégories. Les données issues des enquêtes quantitatives ont permis de dégager des statistiques. Nous avons fait aussi des tableaux à partir des données collectées, des graphiques à partir d'Excel afin de tirer des petites conclusions.

II. RESULTATS

Ils sont expliqués et commentés en lien avec les thématiques abordées en rapport avec les questions

de recherche et les objectifs poursuivis dans cette recherche.

2.1.1 Les types de techniques de conservation des eaux et sols appliqués dans ces villages et les résultats obtenus

Le PGRN/Kayes a utilisé beaucoup de techniques pour conserver les eaux et les sols. Ces techniques sont les mêmes dans tous les villages : digues filtrantes, haies vives, bandes de friches, plantation champêtre, production et épandage de fumure organique, pare feu, reboisements etc.

C'est ainsi qu'à Dinguiralogo, 1620 m de cordons pierreux, ont été réalisés. Ces cordons pierreux ont plusieurs objectifs, ils permettent de conserver l'eau, favorisent l'infiltration. A ce sujet pour le cas précis de ce village, les cordons ont été réalisés sur un site qui était une plage dénudée. Avec la mise en œuvre des cordons pierreux, cette plage dénudée est devenue un triste souvenir.



Photo N°01 les cordons pierreux de Dinguiralogo.

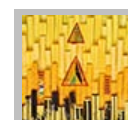
Source : cliché personnel, juillet 1998.

La réalisation de ces ouvrages mécaniques, a permis la régénération naturelle de certaines espèces végétales ou «sauvageons ». Du coup cet espace qui était jadis abandonné, fut de nouveau réutilisé pour champ agricole.

A cet effet les villageois sont très satisfaits de l'efficacité de ces cordons surtout aussi que ça a fait éviter au village une possible inondation suite aux grandes pluies enregistrées pendant le mois d'août 1998. Puisque le village de Dinguiralogo est situé dans un bas-fond alors que les eaux ruissellent des pentes en traversant le village pour venir se déverser dans le fleuve Sénégal, donc c'est sur les pentes que les cordons ont été installés.

Concernant les diguettes en terre, 360 m de diguettes en terre et en pierres ont été réalisées. Les paysans qui ont reproduit ces techniques dans leurs champs, sont très satisfaits des résultats. C'est le cas d'un paysan qui avait son champ situé sur une pente qui est en même temps un bourrelet de berge.

Avant les diguettes en terre le rendement de son champ était très faible il n'y avait pas d'infiltration, mais quand l'animateur lui a fait les diguettes dans



son champ cette année là, c'est le contraire qui s'est produit.

Car les diguettes ont permis de favoriser l'infiltration, de conserver l'humidité, mais aussi de faire un dépôt des terres qui ruisselaient. Un des paysans qui a reproduit le modèle, dans son champ fut très satisfait, il compte faire une très bonne récolte.

Concernant les haies vives il est prévu la réalisation d'ici 1999, la réalisation de 2300 m soit en bouture ou par semi-direct, 2450 m ont été réalisés. Les espèces sont : le pourghère et l'euphorbe (bagani). Les haies vives permettent aussi de favoriser l'infiltration, de conserver l'humidité, et aussi de permettre la régénération d'autres espèces végétales. Elles permettent aussi de lutter contre la divagation des animaux. Concernant aussi cette technique les paysans sont aussi très satisfaits des résultats, car elles permettent l'infiltration la conservation de l'humidité et évitent aussi l'érosion.

Pour les plantations champêtres, c'est 300 plants qui ont été plantés dans le bas-fond et dans les plaines. En 1998, 1 ha a été planté. Les plantations champêtres permettent la fertilisation et la protection des terres de culture. Concernant le reboisement, c'est 2400 plants qui ont été plantés de 1999 à 1998 ; 300ha ont été reboisés. Le reboisement constitue un moyen de fixer le sol et lutter contre l'érosion.

Pour les digues filtrantes, 20 m³ ont été faits et les résultats sont très satisfaisants

Concernant le micro barrage il est prévu l'aménagement de 6,27 ha de rizières pluviales, Tous ont été aménagés, par ricocher les villageois sont satisfaits à 100 %.

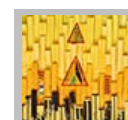
Actuellement à ces jours-ci à part le micro barrage, toutes ces techniques sont reproductibles par les paysans car ils ont participé à toutes les réalisations aussi ils ont été formés. Cependant la sensibilisation doit être de rigueur concernant les biens faits de ces ouvrages. En outre les enquêtes ont révélé qu'au moins 20% des terres dégradées sont parvenues à être conservées suite à l'application des techniques de CES/DRS.

Quant à Diakalel où il existe aussi beaucoup de plages dénudées qui sont en même temps des pentes, il est prévu d'ici 1999 la réalisation de 1500 m pour traiter cette dégradation. De nos jours, 2169 m ont été réalisés. Ces cordons pierreux ont joué un très grand rôle à Diakalel. Car ils ont permis d'éviter au village d'une possible inondation des grandes pluies d'une part, et d'autre part aujourd'hui sur ce « cran cran », il y'a eu la régénération de beaucoup d'herbes. Cette plage dénudée sera désormais une superficie cultivable.

Les cordons ont aussi permis de combler les rigoles de Diakalel. Concernant les diguettes en terre 120 m ont été réalisés à Diakalel. Un paysan de Diakalel avec l'appui de l'animateur a repris cette technique dans son champ qui est situé sur un bourrelet de berge du fleuve Sénégal en même temps une pente.

Ce paysan a été satisfait du résultat. Car à l'amont de l'ouvrage ça a permis de conserver l'humidité, favoriser l'infiltration. Ce qui lui a surtout satisfait c'est que l'ouvrage permettait de récupérer des terres que les eaux de ruissellement transportaient. Pourvu que ce paysan continue à entretenir ces diguettes après chaque hivernage. Pour la réalisation des haies vives, entre 1995 et août 1998, c'est 2 145 m qui ont été réalisées. Les haies vives ont donné les résultats escomptés. Elles ont permis de conserver l'humidité dans les champs et de conserver les sols. Pour le reboisement en bosquet il est prévu le reboisement de 5 ha, entre 1995 et 1996, 2 ha ont été reboisés, et de 1996 à 1999 il est prévu la réalisation de 1 200 ha et 1 200 ha ont été plantés et l'espèce était le gommier. Ces reboisements ont permis de fixer le sol et par conséquent de lutter contre l'érosion. Un micro-barrage a été construit à Diakalel dans un bas-fond et il est prévu l'aménagement de 8,13 ha, de nos jours, 6,5 ha ont été aménagés pour la riziculture pluviale. Pour les pare-feux, le traitement de 3 000 m a été fait de 1994 à 1999. Le pare-feu ou mise en défens permet la régénération d'espèces végétales. A ce titre, notre étude a permis de mettre en lumière que sur la superficie totale des terres dégradées, 30% ont été conservées. Aussi les techniques de CES/DRS, permettent de garder les eaux et l'humidité dans les champs.

A Bongourou, 1 800 m de cordons pierreux et de diguettes, ont été installés courant 1997. Les cordons pierreux de Bongourou ont aussi évité le village d'une possible inondation des grandes pluies que toutes les régions sahéliennes ont connues en août 1998. Car ce village aussi est situé au bas de la pente sur un bourrelet de berge du fleuve Sénégal. Avant les cordons les eaux ruisselaient de la pente qui est une plage dénudée pour venir se stagner dans le village. Les cordons ont permis d'éviter cette catastrophe en freinant la vitesse de l'écoulement de l'eau tout en favorisant l'infiltration. Pour les haies vives de Bongourou, elles aussi ont joué un grand rôle. Elles ont permis de conserver l'humidité, de protéger les sols contre l'érosion hydrique surtout avec les grandes pluies. Pour cela 100 m de haies vives ont été plantées entre Février et Juillet 1998. Pour fixer le sol et lutter contre l'érosion, le reboisement de 2 500 plants a été fait de 1994 à 1999. Ainsi 100 ha ont été reboisés en 1996, et 128 ha en 1998. Comme lutte contre les feux de brousse, 0,73 km de pare-feu ont été nettoyés. Ce pare-feu a permis la régénération des espèces végétales et de conserver les espèces déjà existantes. Pour combler les rigoles et lutter contre les conséquences du ruissellement en nappe 59,40 m de fascines ont été faites entre 1997 et 1998. Les fascines ont donné les résultats escomptés. Le constat est qu'à Bongourou, toutes les actions de CES faites ont donné les résultats très satisfaisants. Cependant les villages doivent surveiller de près et entretenir les ouvrages. Dans ce



dessein, nos investigations, ont mis en relief que 15 % des terres dégradées, ont été récupérées.

Quant à Tafassirga, en 1996 l'installation de 720 m de cordons pierreux, a été effectuée. Donc 57 % de satisfaction. Cependant entre avril 1997 et mai 1998, 232 m de cordons pierreux ont été installés. Les cordons de Tafassirga ont permis de faire renaître la végétation sur des zones appelées "cran -cran" qui était abandonnées par le village. Mais aujourd'hui avec les cordons, cette plage dénudée est un triste souvenir car aujourd'hui il y a eu la régénération de beaucoup d'espèces végétales, et l'endroit est devenu une zone de pâturage. La zone sera aussi désormais une superficie cultivable. Les cordons de Tafassirga jouent un autre rôle, celui de l'infiltration pour remplir les nappes phréatiques. Car le village connaît des problèmes de remplissage des nappes phréatiques pour le creusement des puits. En 1998, 70,30 m de diguettes en terre ont été réalisées dans des champs. Elles ont permis l'augmentation de la production du mil et de l'arachide pour les paysans qui ont utilisé la technique dans leur champ. Cela est dû au fait que ces diguettes conservent l'humidité mais font des dépôts de terres. Favoriser l'infiltration, de conserver l'humidité et de lutter contre la divagation des animaux. Concernant les pare-feux ou mise en défens, 3,2 km ont été réalisés en 1997. Pour le reboisement en 1995 il est prévu le reboisement de 800 ha, cependant 600 ha ont été reboisés donc 80 % de satisfaction. En 1998, 708,5 ha ont été reboisés. Ces reboisements à Tafassirga permettent de fixer le sol et de lutter contre l'érosion hydrique et éolienne. Ainsi à Tafassirga toutes les actions de C.E.S déjà réalisées ont entraîné des résultats escomptés. Les populations sont très satisfaites des actions. Quant au micro-barrage aussi il a déjà donné les résultats escomptés. Car les paysans ont fait une bonne moisson de riz et puis ça a permis de remplir les nappes phréatiques.

Dans ce postulat, les enquêtes ont révélé que sur l'ensemble des terres dégradées, 35% ont été restaurées suite aux actions de CES/DRS.

Le graphique qui suit explique le pourcentage de terres récupérées dans les quatre villages de la zone d'étude, suite à la mise en œuvre des actions de DRS/CES

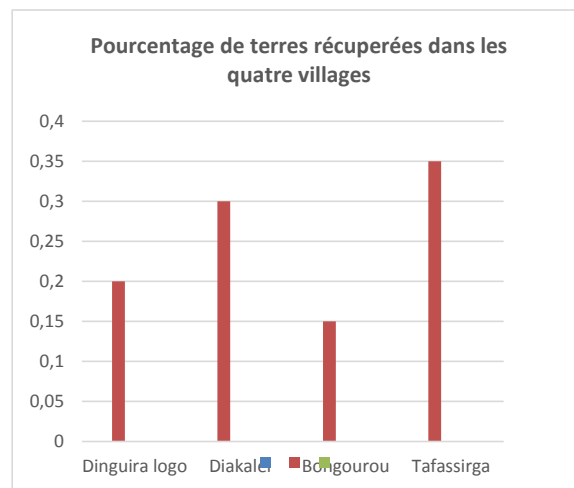


Fig N°1 : Le pourcentage de terres récupérées dans les quatre villages.

Source : données de terrain, 1998.

Selon ce graphique, c'est le village de Tafassirga qui a récupéré plus de terre cultivable avec 35%. Et le village de Bongourou vient en dernière position avec 15%. Cela s'explique par le fait que la mobilisation de la main d'œuvre locale pour faire les actions de DRS/CES, était plus facile dans ce village soninké. Aussi dans le cadre de la contribution communautaire, leur diaspora à l'étranger contribuait financièrement. Tel n'était pas le cas du village de Bongourou. La mobilisation communautaire était difficile. Ce village est aussi proche de la ville de Kayes. Du coup ses habitants se sentent citoyens pour exécuter des actions de DRS/CES, qui sont trop pénibles pour l'être humain. Dans cette perspective, le PGRN/Kayes avait prévu de nombreux types investissements pour la préservation des écosystèmes dans les quatre villages pour une croissance économique de ces localités

Le tableau N°01 ci-dessous met en relief, les nombreux types d'investissements d'ouvrages anti-érosifs et de conservations des eaux et sols de 1994 à 1998.

A ce sujet la plupart des réalisations prévues dans les quatre villages, ont dépassé les prévisions. Cet état de fait met en exergue l'engouement que les populations avaient à l'époque pour protéger et préserver leur environnement dans le but d'atteindre un développement économique et social.

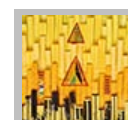


Tableau 1 : Investissements des ouvrages anti-érosifs de 1994 à 1998

Désignation	Dinguiralo		Diakalel		Bongourou		Tafassirga	
	Prévisions entre 1994 à 1999	Réalisations de 1994 à 1998	Prévisions entre 1994 à 1999	Réalisations de 1994 à 1998	Prévisions entre 1994 à 1999	Réalisations de 1994 à 1998	Prévisions entre 1994 à 1999	Réalisations de 1994 à 1998
Cordons pierreux	1 500 m	1 620 m	1 500 m	2 165 m	1 800 m	430 m	720 m	642 m
Diguettes en pierre	1 500 m	360 m	-	-	-	-	-	-
Diguettes en terre	1 500 m	360 m	1 500 m	120 m	-	-	1 000m	70,30 m
Haies vives	6 300 m	2 450 m	3 000 m	8 149 m	1 000 m	100 m	1 500 m	1 500 m
Plantation champêtre	300 plants	1 ha	-	-	-	-	-	-
Reboisement	2 400 plants	300 ha	1 200ha	1 200 ha	2 500 plants	101,28 ha	800 ha	600 ha
Fascine	-	-	-	-	1 000 m	59,40 m	-	-
Micro-barrage	6,27 ha	6,27 ha	8,13ha	6,5ha	-	-	6,27ha	6,27ha
Digues filtrantes	150 m ³	20 m ³	-	-	-	-	-	-

Source ; données de terrain août 1998

2.1.2 Impact des actions et mesures sur les ressources naturelles

Concernant l'impact, il faut signaler qu'il y'a l'impact technique, économique, social et l'impact sur les ressources naturelles elles-mêmes.

2.1.2.1 L'impact technique

Aujourd'hui il est réellement avancé tant au niveau individuel, homme ou femme qu'au niveau collectif. Très nombreux sont les femmes, hommes et enfants qui ont été formés ou s'auto formés au niveau à eau, au piquetage et à la réalisation des actions. Que ça soit à Bongourou à Dinguiralo et à Diakalel, beaucoup de paysans et paysannes sont capables de reprendre les techniques sans un appui extérieur. Dans tous ces villages la prise de conscience est très forte en ce qui concerne l'importance des ouvrages.

2.1.2.2 L'impact économique

Partout dans ces villages, les paysans tireront beaucoup d'avantages des ouvrages. Car les ouvrages les ont permis d'avoir beaucoup plus de superficies agricoles. Et puis pour tous les paysans qui ont reproduit les techniques dans leur champ, les récoltes s'annoncent bonnes même si les pluies se sont arrêtées à un moment qu'il ne fallait pas. Cependant les ouvrages conserveront l'humidité dans ces champs.

2.1.2.3 L'impact sur les ressources naturelles des actions

Dans tous ces villages où les ouvrages ont été réalisés, ils ont donné les résultats escomptés en amont : comblement des rigoles et des ravines dépôt de terre lors des transports. Toujours à l'amont des ouvrages il y a eu reverdure. A Dinguiralo les herbes qui ont poussé à l'amont des ouvrages sont très hautes et touffues. A Diakalel, cette verdure de l'amont des ouvrages est devenue une zone de pâturage.

A l'aval des ouvrages surtout ceux des cordons pierreux, ils ont permis d'éviter une inondation possible des villages. Partout dans ces villages où les ouvrages ont été réalisés sur des terres érodées appelées "cran - cran", au jour d'aujourd'hui sur ces terres, il y a eu un dépôt alluvionnaire très important avec uniformisation de la surface très riche en matière organique avec une bonne aération du sol.

Les diguettes en terre réalisées dans les champs ont permis de conserver l'humidité dans les champs si bien que le temps de sarclage est devenu long pour les paysans Les ouvrages permettent aux sols d'être malléables et facile à travailler.

Les micros barrages permettent de retenir les eaux pour l'abreuvement des animaux. Aussi les herbes qui y poussent constamment à cause de l'humidité dans le lit des bas-fonds, sont très appréciées par les petits et gros ruminants.

Mais l'importance même des micros barrages constitue la riziculture. A Dinguiralo la moisson s'annonce très bonne cette année. Quant à Diakalel, les grandes pluies ont détruit les plants de riz. Car à l'amont de l'ouvrage le niveau de la nappe phréatique a beaucoup augmenté et les villageois ont commis l'erreur de ne pas ouvrir la vanne au moment opportun. Aujourd'hui dans tous ces villages, les hommes et les femmes ont acquis la conscience et la certitude que les arbres plantés leur appartiennent. Ainsi pour cela ils ont choisi des groupes des jeunes pour surveiller les réalisations.

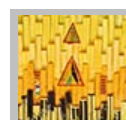
III. DISCUSSION DES RESULTATS

Les analyses présentées dans cette recherche ont ainsi contribué à mettre en évidence que la lutte anti érosive, la récupération de certains champs perdus, la restauration du couvert végétal à travers la mise en œuvre des actions de DRS/ CES (procédés biologiques et mécaniques), constituent des impérieuses nécessités.

Nos résultats ont montré que les acteurs locaux auprès desquels nous avons collecté nos données, ont une perspective large de la pérennisation et de la reproductibilité des actions réalisées dans les différents villages choisis pour l'étude.

Les types de techniques de conservation des eaux et sols appliqués dans ces villages et les résultats obtenus

Nos résultats ont permis de mettre en évidence qu'avant l'encadrement de ces villages par le Projet de Gestion des Ressources Naturelles (PGRN/Kayes, ces villages étaient des laissés pour compte abandonnés par les services classiques de l'Etat (Eaux et Forêts, Agriculture et Elevage). Du coup ces villages étaient confrontés à des difficultés socio-économiques récurrentes. (MELALIH.A, 2012) dans son mémoire de master intitulé : Analyse des techniques de conservation de l'eau et du sol dans la zone aride, cas du bassin versant d'AIN SEFRA., tenait le même propos : « Ces dégradations sont accentuées par le contexte d'affaiblissement de la gestion traditionnelle des territoires provoquées par les changements socioéconomiques et politiques, et l'absence de mesures appropriées de la part de l'Etat et ses services techniques pour substituer aux anciennes règles de gestion du patrimoine pastoral et écologique, de nouvelles règles pour assurer la sauvegarde et le développement durable des ressources naturelles. ». Les techniques de DRS/CES appliquées à Dinguiralo, à Bongourou, à Tafassirga, à Diakalel, ont permis de conserver et de récupérer de nombreuses terres agricoles. Cela a été confirmé dans les mémoires de fin de maîtrise de (B. Sissoko, 1995) et (M. Koïta, 1996). Ayant tous travaillé sur le PGRN/Kayes, ces deux prédécesseurs, ont tous démontré l'impact des actions de DRS/CES pour la protection et la préservation de l'environnement en un premier lieu.



Et en second lieu pour le développement économique et social des populations.

Pour (J.C.J. VLAAR, 1992), les techniques de CES s'appliquent aux terres agricoles, aux terres sylvo-pastorales ou aux deux simultanément dans le cas d'aménagements de terroirs. Comme c'est à peu près le cas partout dans les zones sahéliennes, le PGRN/Kayes a appliqué la CES dans les zones agro-sylvo-pastorales des quatre villages choisis à l'époque pour notre étude.

L'application de la technique de conservation des eaux et sols à travers les types de procédés biologiques et mécaniques ont permis à nos zones d'étude, d'augmenter les rendements des champs d'une part et d'autre part, cela a impacté positivement sur tout l'écosystème des terroirs en question. Toujours (MELALIH.A Op. Cite.), d'ajouter : « La conservation des eaux et des sols est donc indispensable pour protéger les ressources naturelles de ces zones. C'est à la fois une science et une technique de l'utilisation et du traitement de la terre permettant de protéger le sol et d'augmenter en même temps sa productivité (en conservant le sol proprement dit, ces éléments naturels de fertilité particulièrement la matière organique et les engrais qui ont été utilisés par l'homme, ainsi que toute l'humidité naturelle dispensable). »

Après l'atelier de Porto Rico (MOLDON H et HUDSON, 1987) in (ROOSE.É, 1994) une nouvelle approche est née : « la gestion conservatoire de l'eau de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES), tente de mieux tenir compte des contraintes paysannes et cherche à valoriser le travail tout en réduisant le risque de l'érosion et en respectant certaines règles. » A ce sujet, contrairement aux opérations de développement rural (ODR) qui ne tenaient pas compte des volets environnementaux dans leur approche d'intervention, la protection et la préservation de l'environnement fut les seules options du PGRN/Kayes dans la dynamique du développement socioéconomique des populations des villages concernés par le projet.

Comme procédé biologique appliqué, le PGRN/Kayes a aussi appris aux paysans des quatre villages le paillage ou (mulch). Cela permet de minimiser l'impact sur le sol de certaines gouttes de pluies qui peuvent provoquer la rigole puis plus tard la ravine. (J.C.J. VLAAR, 1992), dans certaines régions de la zone sahélienne, les populations appliquent d'elles-mêmes des techniques traditionnelles de conservation des eaux et des sols sur les terres agricoles. C'est le cas notamment du plateau central au Burkina Faso, de l'Ader Douchi Maggia au Niger et du pays Dogon au Mali.

Impact des actions et mesures sur les ressources naturelles

Dans cette lancée, l'efficacité des cordons de pierres en matière de conservation et de rétention de l'eau est reconnue par la plupart des paysans des quatre villages de notre zone d'étude. Les travaux de (B. Sissoko, 1995) et (M. Koïta, 1996), l'ont prouvé. Dans cette même dynamique, selon (HIER, 1995) in (TRAORE, 2008), « Les cordons pierreux sont des obstacles filtrants qui ralentissent la vitesse de ruissellement ; ils permettent la sédimentation des particules (sables, mais aussi terre fine, matière organique) à l'amont de la diguette, une augmentation de l'infiltration des eaux ruisselantes ».

Les procédés biologiques (*Euphorbia balsamifera*, *Jatropha curcas*, bosquet villageois etc.), utilisés par le PGRN/Kayes, ont très vite entraîné les espoirs escomptés. En effet, ils ont permis eux aussi de former des nouveaux sols sédimentaires dérivés de l'accumulation alluvionnaire de dépôt de terres arrachés suite aux ruissellements des pluies diluviennes. Tel est le cas au Burkina Faso selon (Kessler JJ, et Breman H, 1991) : « l'*Andropogon gayanus* qu'on peut souvent observer comme délimitations des champs sur le Plateau Central du Burkina Faso, sert elle-même de constructions anti érosives ».

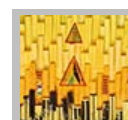
IV. CONCLUSION

En zone sahélienne du cercle de Kayes, l'écosystème a été fortement dégradé et les populations pour la plupart, agriculteurs, pêcheurs, chasseurs, éleveurs, ont été durement secoués par la sécheresse. Pour le moment l'expérience du PGRN dans ces villages est trop courte pour dire qu'un grand espoir est né dans le sahel kayésien. A travers des actions déjà réalisées, on peut dire que le PGRN a mis en place des outils qui vont permettre dans le futur un équilibre socio-écologique fondé sur la régénération de l'environnement. Aujourd'hui tous ces villages sont conscients que leurs systèmes agro-sylvo-pastoraux sont en perpétuelles dégradations, dues à la baisse de la pluviométrie et à la croissance démographique. Alors ils ont entrepris avec succès bien sûr avec l'appui du PGRN de conserver leurs eaux pour un meilleur usage de conserver leurs sols pour produire beaucoup afin d'éradiquer la faim au futur.

REMERCIEMENTS

Je remercie le Dr Marimantia DIARRA à l'époque Directeur du PGRN pour les rôles qu'il a joués pour moi afin que cette étude sur : Etudes des expériences du Projet de Gestion des Ressources Naturelles (PGRN) de 1993-1998 en matière de conservation des eaux et des sols dans le cercle de Kayes : cas de Bongourou, Diakalel, Dinguiralo et Tafassirga, puisse être déroulée sans difficulté

Je remercie les cadres de l'équipe d'appui technique de Kayes (EAT) et les populations des villages



concernées, qui ont bien voulu sacrifier leur temps pour moi afin que cette recherche puisse aboutir.

DECLARATION DE CONFLIT D'INTERETS

Cet article ne comporte aucun conflit d'intérêts.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AL KARKOURI et al.2000 : *Technique de conservation de l'eau et des sols dans une zone semi aride méditerranéenne du rif central (vallée de Beni Boufrah).*

Boubacar SISSOKO : *Analyse des méthodes d'intervention agro forestières sur l'environnement : Cas du projet de gestion des ressources naturelles dans le village de Dinguiralo, Mémoire de fin d'étude à l'ENEEA (Ecole Nationale de l'Economie Appliquée) de Dakar ; (1995 - 1996).*

J.CJ.VLAAR (Ed.), 1992, *les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du sahel.*

Kessler, J-J. et Breman, H., 1991. *The potential of agroforestry to increase primary production in the Sahelian and Sudanian zones of west Africa. Agroforestry Systems* 13:41- 62.

Meh KOITA ; *perception et impact des ouvrages anti-érosifs réalisés par le PGRN dans le cadre de la gestion des ressources naturelles dans le cercle de Kayes.* Mémoire de fin d'étude (IPR de Katibougou, décembre 1996).

MELALIH Ahmed, 2012, *Analyse des techniques de conservation de l'eau et du sol dans la zone aride cas bassin versant d'AIN SEFRA*, mémoire pour l'obtention du diplôme de magister en sciences agronomiques.

ROOSE É et al.1994 : *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols. (GCES).* Bull. Pedol.FAO.70-420P.

ROOSE É.1994 : *Evolution historique des stratégies de lutte antiérosive vers la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)*, Directeur de recherche en Pédologie : IRD. Montpellier. France.

TRAORE K. ADAMA M.TOE.2008 : *Capitalisation des initiatives sur les bonnes pratiques agricoles au BURKINA FASO.* Version finale.



Comment booster la production du coton et améliorer le rendement des cultures subsequentes dans un contexte de changement climatique en Afrique de l'Ouest ?

F. Sissoko^{1*}, I. Amonmide², B. Koulibaly³, D. Dakuo³, A. Ouattara⁴, F. Sawadogo⁴, K. E. N'goran⁵, H. Macina⁶, N.H. Diallo-Diagne⁷, M. Naitormbaide⁸ et P. K. Akantetou⁹

¹Institut d'Economie Rurale

²Institut National Des Recherches Agricole du Bénin

³ Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles

⁴Programme Régional de Production Intégrée du Coton en Afrique

⁵Centre National de Recherche Agronomique

⁶Toguna Agro-industrie

⁷ Institut Sénégalais de Recherche Agricole

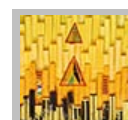
⁸ Institut Tchadien de Recherche Agricole pour le Développement

⁹ Institut togolais de recherche agronomique

*Auteur correspondant : fagaye_sissoko@yahoo.fr

RESUME: L'économie des pays d'Afrique Subsaharienne en général et celle des pays du Programme Régional de Production Intégrée du Coton en Afrique (PR-PICA) : Benin, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Mali Sénégal et Togo en particulier, est fortement tributaire de l'agriculture qui est pour l'essentiel, une agriculture de subsistance caractérisée par de faibles rendements agricoles et une faible productivité des terres. Le coton, culture de rente qui occupe une place prépondérante dans l'économie de ces pays, fait l'objet d'intensification et d'encadrement technique assez poussés en comparaison avec toutes les autres cultures pratiquées. Toutes les statistiques tendent à montrer que les régions de production cotonnière produisent l'essentiel de la production céréalière desdits pays qui restent toutefois, très fortement tributaires de la culture du coton et de la pluviométrie. Cela a été mis en exergue au Mali au cours de la campagne agricole 2000/2001 avec le boycott de la culture cotonnière, quand la production céréalière totale de l'année a accusé un recul de 13,5 %. Cette situation prouve que le coton constitue un levier pour l'accroissement de la productivité agricole, des revenus des producteurs, de la sécurité alimentaire et, partant, du bien-être de millions d'agriculteurs dans les pays d'Afrique de l'Ouest et du Centre. Cependant, force est de constater que le rendement de cette culture baisse ou stagne depuis des décennies. Beaucoup d'investigations ont été faites et des hypothèses ont été émises. L'objectif de cette étude s'inscrit dans le cadre de la réactualisation des formules d'engrais utilisées sur le cotonnier et de contribuer à l'amélioration de la fertilité des sols dans les systèmes de production coton. Il s'agit spécifiquement d'évaluer l'efficacité agronomique de deux nouvelles formules d'engrais NPKSB enrichies en Calcium (Ca) et/ou en Magnésium (Mg) en culture cotonnière (14-18-18+5S+1B+2,5CaO et 15-15-15+5S+1B+2, 5CaO+2,5MgO). Des essais et tests ont été conduits dans différentes zones agro écologiques avec des situations pluviométriques contrastées. Globalement ces deux nouvelles formules d'engrais ont induit une augmentation de rendement de 6 à 12% par rapport au témoin pays. L'évaluation de l'arrière-effet des nouvelles formules d'engrais coton sur le rendement du maïs a varié selon les types de formules et d'un pays à un autre. Il ressort des résultats obtenus que les deux nouvelles formules d'engrais testées permettent une augmentation du revenu des producteurs par rapport à la formule vulgarisée dans chaque pays.

ABSTRACT: The economy of Sub-Saharan African countries in general and that of the countries of the Regional Programme for Integrated Cotton Production in Africa (PR-PICA): Benin, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Mali Senegal and Togo in particular, is heavily dependent on agriculture, which is essentially subsistence farming characterized by low agricultural yields and low land productivity. Cotton, a cash crop that occupies a dominant place in the economies of these countries, is subject to fairly intensive intensification and technical supervision in comparison with all other crops grown. All the statistics tend to show that the cotton-producing regions produce the bulk of the cereal production of these countries, which remains, however, very heavily dependent on cotton cultivation and rainfall. This was highlighted in Mali during the 2000/01 crop year with the boycott of cotton cultivation, when total cereal production for the year fell by 13.5 per cent. This situation proves that cotton is a lever for increasing agricultural productivity, producers' incomes, food security and hence the well-being of millions of farmers in West and Central African countries. However, it must be noted that the yield of this crop has been declining or stagnating for decades. Many investigations have been made and hypotheses have been put forward. The objective of this study is to update the fertilizer formulas used on cotton and to contribute to the improvement of soil fertility in cotton production systems. Specifically, the agronomic efficiency of two new



NPKSB fertilizer formulas enriched in Calcium (Ca) and/or Magnesium (Mg) in cotton cultivation (14-18-18+5S+1B+2.5CaO and 15-15-15+5S+1B+2.5CaO+2.5MgO) will be evaluated. Trials and tests were conducted in different agro-ecological zones with contrasting rainfall situations. Overall, these two new fertilizer formulations induced a yield increase of 6 to 12% compared to the country control. The evaluation of the after-effect of the new cotton fertilizer formulas on maize yield varied according to the types of formulas and from one country to another. The results show that the two new fertilizer formulations tested resulted in an increase in producer income compared to the popularized formula in each country.

I. INTRODUCTION

Le coton est la principale culture de rente et joue un important rôle dans le secteur agricole et le développement socio-économique des pays du Programme Régional de Production Intégrée du Cotonnier (PR-PICA). En effet, le coton joue un rôle déterminant dans le dispositif stratégique de lutte contre la pauvreté car il fait vivre près de 10% de la population totale et contribue pour environ 25 % à la formation du PIB agricole (AICB, 2008). La filière coton joue donc un rôle capital dans l'équilibre socio-économique du pays (Goreux, 2003) car, depuis son introduction par le colonisateur, la production cotonnière n'a cessé de croître et d'accroître son importance dans l'économie des pays de la sous-région Ouest-africaine. Cependant, cette filière se heurte à des défis complexes (les subventions accordées dans les pays développés, l'augmentation de la production de coton dans le monde, la concurrence accrue des fibres synthétiques, les innovations technologiques, les nouveaux moyens de lutte contre les parasites, la percée des biotechnologies chez les producteurs des pays développés, d'Asie et même d'Afrique du Sud et d'octroyer des aides publiques à leurs producteurs) (Hussein et al., 2005).

Mais depuis quelques années, on note une tendance à la stagnation, voire à la diminution des rendements du cotonnier et ce malgré l'utilisation plus ou moins importante des engrais minéraux. C'est ainsi que, pour déterminer les causes probables de cette baisse des rendements, une étude a été menée concomitamment au Bénin, au Burkina Faso, en Côte d'Ivoire, au Mali, au Sénégal et au Togo sous l'égide du Programme Régional de Protection Intégrée du Cotonnier en Afrique (PR-PICA). Dans ces différents pays, les résultats ont révélé une baisse de la fertilité des sols se manifestant par une carence des sols en bases échangeables notamment en calcium, magnésium et potassium, et entraînant ainsi une acidification des sols cultivés. Pourtant, sur des sols acides, certains éléments deviennent moins assimilables (phosphore par exemple) et même toxiques (aluminium) pour les plantes. Par ailleurs, les différents chercheurs du PR-PICA ont également conclu que la formule minérale (14-18-18+6S+1B)

utilisée de nos jours pour la fertilisation du cotonnier contribue à acidifier les sols. En effet, cette formule ne contient ni du calcium, ni du magnésium qui sont des éléments susceptibles d'améliorer les propriétés physico-chimiques des sols. En outre, cette formule a très peu évolué depuis sa mise au point, qui remonte vers les années 1980, alors que les conditions de production telles que la fertilité des terres, la pluviométrie à travers la quantité et la distribution des pluies au cours des campagnes, connaissent des changements qui sont défavorables à la production du coton.

Face à cette situation, les différents chercheurs ont défini deux nouvelles formules minérales enrichies en calcium et/ou en magnésium et qui sont ainsi potentiellement moins acidifiantes. Pour tester ces nouvelles formules, une étude intitulée "Comment booster la production du coton et améliorer le rendement des cultures subséquentes dans un contexte de changement climatique en Afrique de l'Ouest", a été entreprise dans les différents pays du PR-PICA. Cet article fait la synthèse des résultats obtenus.

II. OBJECTIFS

2.1. Objectif général

L'objectif général est de contribuer à l'amélioration de la fertilité des sols dans les systèmes de culture à base de coton

2.2. Objectif spécifique

L'objectif spécifique est d'évaluer l'efficacité agronomique de nouvelles formules d'engrais NPKSB enrichies en Calcium (Ca) et/ou en Magnésium (Mg) sur le rendement du cotonnier et leurs arrières effets sur le maïs.

III. MATERIEL ET METHODES

3.1. Sites

Des tests ont été conduits dans les six pays du PR-PICA (Bénin, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Mali, Sénégal, Togo). La liste des tests prévus et réalisés par pays figure dans le tableau 1. Il était prévu de réaliser chez 50 producteurs le test de comparaison des nouvelles formules. Pour des raisons diverses, le nombre de producteurs ayant conduit le test a été inférieur au nombre prévu.



Tableau 1 : Nombre de producteurs par pays ayant conduit le test

Pays	Nombre de producteurs prévu pour le test	Nombre de producteurs ayant réalisé le test
Bénin	50	30
Burkina Faso	50	45
Côte d'Ivoire	50	42
Mali	50	35
Sénégal	50	49
Togo	50	36
Total	300	246

3.2. Matériel

Matériel végétal

La liste du matériel végétal utilisé par pays et le potentiel des variétés figurent dans le tableau 2. Pour

la conduite de ce test, le Mali avait le plus de variétés dans les différentes zones 4 contre 2 variétés au Togo, en Côte d'Ivoire et au Sénégal et 3 variétés au Bénin et au Burkina Faso.

Tableau 2 : Liste des variétés utilisées par pays pour la conduite des tests.

Variété	Pays						Rendement
	Bénin	Burkina Faso	Mali	Togo	Côte d'Ivoire	Sénégal	potentiel (tonne/ha)
ANG 956							4
OKP 768							4
KET782							4
FK37							2,5
STAM 59A							2,5
FK 64							3
NTA 90-5							3
NTA93-15							3
STAM279A							3
STAM129A							3
Y 331							4
X442							4



Intrants

Le complexe coton utilisé dans chaque pays (Tableau 3) a été comparé aux deux nouvelles formules de complexe coton enrichies en CaO et/ou en MgO. L'urée a été utilisée en fertilisation de couverture dans tous les pays.

Tableau 3 : Complexe coton et teneurs en éléments nutritifs utilisés dans les différents pays.

Pays	Engrais témoin (N-P-K+S+B)
Bénin	14-18-18+6S+1B
Burkina Faso	14-18-18+6S+1B
Côte d'Ivoire	15-15-15+6S+1B
Mali	14-18-18+6S+1B
Sénégal	14-23-14+5S+1B
Togo	12-20-18+5S+1B

Les insecticides recommandés dans les différents pays pour la protection du cotonnier ont été utilisés.

3.3. Méthodes

Dispositif expérimental

En station, le dispositif expérimental a été le bloc Fisher avec trois objets en 4 répétitions (Tableau 4). La dimension des parcelles élémentaires a été de 15

m x 7,2 m = 108 m², soit 9 lignes de 15 m. La parcelle utile a été constituée par les 4 lignes centrales diminuées de 1 m à chaque extrémité. Le coton a été semé aux écartements 0,80 m x 0,30 m et le démarrage a été fait à 2 plants par poquet deux semaines après la levée. Pour l'évaluation de l'arrière effet en station, les mêmes parcelles élémentaires et le même dispositif ont été utilisés. Le maïs a été semé aux écartements de 0,80 m x 0,40 m et démarré à 2 plants par poquet deux semaines après la levée.

En milieu paysan, le bloc dispersé avec un témoin adjacent a été utilisé. La superficie du test a été de un (01) hectare, soit 2 500 m² par objet.

Les parcelles ont été labourées avant le semis. Le complexe coton a été apporté à la dose de 200 kg ha⁻¹ (15 JAS). L'apport de l'urée à la dose de 50 kg ha⁻¹ a été fait au buttage (45 JAS). Les sarclages ont été réalisés à la demande.

Pour l'évaluation de l'arrière effet des nouvelles formules sur le rendement du maïs, les parcelles ont été labourées avant le semis. Le complexe céréale a été apporté à la dose de 100 kg ha⁻¹ (15 JAS) et l'urée a été fractionné (50 kg au moment de l'apport du complexe céréale et 100 kg au buttage (45 JAS) au Mali et au Togo. Au Bénin et au Burkina Faso, le complexe coton a été apporté sur le maïs à la dose de 150 kg/ha plus 50 kg d'urée par hectare. Les entretiens sarclages ont été réalisés à la demande. Cet itinéraire technique a été appliqué dans toutes les parcelles des différents objets et chez tous les producteurs.

Tableau 4 : Teneurs en éléments fertilisants des différents objets mis en comparaison en station et en milieu paysan dans les différents pays.

Objet	Engrais NPKSB* +CaO et/ou MgO			Urée (46 % N) kg/ha
	NPKSB (200 kg/ha)	CaO (%)	MgO (%)	
Objet 1	Témoin pays	0	0	50
Objet 2	14-18-18+5+1	2,5	0	50
Objet 3	15+15+15+5+1	2,5	2,5	50

Légende : * NPKSB (N, P₂O₅, K₂O, S et B₂O₃)

Variables observées ou mesurées

Les variables suivantes ont été observées ou mesurées :

- des prélèvements de sol ont été réalisés dans chaque parcelle à la profondeur 0 – 20 cm avant la mise en place du test. Les caractéristiques physico-chimiques suivantes ont été déterminées : matière organique, azote total, P assimilable (Bray 1), pH eau ;
- le nombre de poquets et de plants ont été estimés au 30^{ème} JAL et à la récolte ;
- la hauteur des cotonniers a été mesurée sur 10 plants par objet à la récolte ;
- le nombre de capsules a été compté sur 5 plants dans chaque carré de rendement ;
- le rendement a été estimé à partir de 3 carrés placés dans chaque objet (5 lignes de 5 m de long).

Méthode d'analyse des données en station et en milieu paysan

Les données ont été analysées à l'aide du logiciel GenStat. L'analyse de la variance a été faite pour déterminer la différence entre les traitements et le test de Newman et Keuls pour séparer les moyennes des différents traitements.

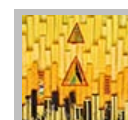
IV. RESULTATS ATTENDUS

Les résultats attendus sont les suivants :

- l'efficacité agronomique des nouvelles formules d'engrais proposées en culture cotonnière est connue ;
- l'arrière effet des nouvelles formules d'engrais est déterminé.

V. POINT D'EXECUTION TECHNIQUE

5.1. Mise en place des tests



Les périodes de semis dans les différents pays figurent dans le tableau 5. Pour la mise en place de ces tests, aucun semis n'a été réalisé au mois de mai. On peut donc dire qu'aucun semis très précoce n'a pas pu être réalisé.

A part le Sénégal, tous des autres pays ont utilisé les trois décades du mois de juin pour semer. Aucune mise en place n'a été réalisée au Sénégal pendant la première décade du mois de juin. L'installation de la pluviométrie a été très tardive. Il faut aussi retenir que le mois de juin est réellement la bonne période pour le semis des différentes cultures.

Le mois de juillet est souvent considéré par les producteurs comme un peu tardif pour la culture du

coton. Cependant, des semis ont été réalisés pendant la première décade du mois de juillet dans tous les pays. Cela peut s'expliquer en partie par les effets du changement climatique. Actuellement, on constate une installation tardive des pluies dans beaucoup de zones. Cependant, certaines années les pluies commencent très tôt au mois d'avril et sont suivies par une période de très longue sécheresse. La deuxième décade a été utilisée pour semer le coton uniquement au Bénin et au Togo. Le risque d'arrêt précoce au mois de septembre est souvent observé dans les pays comme le Burkina Faso, le Mali et le Sénégal.

Tableau 5 : Périodes de semis dans les différents pays.

Pays	Période de semis								
	Mois de mai			Mois de juin			Mois de juillet		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Bénin									
Burkina Faso									
Côte d'Ivoire									
Mali									
Sénégal									
Togo									

5.2. Cumul de la pluviométrie et nombre de jours pluvieux

Le cumul et le nombre de jours pluvieux figurent dans le tableau 6. La zone de production du PR-

PICA peut être divisée en trois : 1) zone pluvieuse (Bénin, Côte d'Ivoire Togo, 2) zone à pluviométrie moyenne (Burkina Faso et Mali), 3) zone sèche (Sénégal).

Tableau 6 : Cumul de la pluviométrie et nombre de jours pluvieux dans les différents pays

Pays	Cumul pluviométrique (mm)	Nombre de jours pluvieux
Bénin	800-1400	40-80
Burkina Faso	826-965	42-56
Côte d'Ivoire	896-1320	69-72
Mali	755-1032	40-54
Sénégal	588-967	35-54
Togo	933-1249	50-90

VI. RESULTATS OBTENUS DANS LES DIFFERENTS PAYS

6.1. Caractéristiques moyennes des sols des zones d'étude

Les sols utilisés pour la culture du coton sont du type ferrugineux tropical souvent lessivé. Les teneurs en

matière organique sont très faibles (Tableau 7). Les teneurs en phosphore assimilable et en potassium sont faibles. Le pH est acide dans la majorité des cas et souvent inférieur au seuil recommandé pour la culture du coton.

Tableau 7 : Caractéristiques moyennes des sols des différentes zones des pays du PR-PICA

Caractéristiques	Teneurs	Seuils
Argiles (%)	5-40	
Matière organique (%)	0,4-2,5	0,6
Phosphore assimilable (mg/kg)	6-10	25
Ca ²⁺ (cmol.kg ⁻¹)	0,8-1,99	2,3-3,5 (moyen)
Mg ⁺ (cmol.kg ⁻¹)	0,12-2,40	1-1,5 (moyen)
K ⁺ (cmol.kg ⁻¹)	0,12-0,47	2-3,1 (moyen)
pH eau	4,7-6,3	5,5



6.2. Nombre moyen de plants par hectare dans les différents pays

D'une manière générale, à part le Sénégal, le nombre de plants par hectare a été faible dans tous les pays

(moins de 50 000 plants/ha). En fonction des écartements de semis, la densité théorique varie entre 62 500 à 83 333 plants par hectare.

Tableau 8 : Nombre de plants moyens par hectare dans les différents pays

Pays	Objets		
	Objet 1	Objet 2	Objet 3
Bénin	47 527	47 607	47 859
Burkina Faso	53 935	54 983	54 185
Côte d'Ivoire	63 938	65 521	63 910
Mali	36 218	39 767	37 515
Sénégal	74 722	75 840	72 903
Togo	47 039	48 191	47 396

6.3. Hauteur des cotonniers dans les différents pays

L'estimation de la hauteur des cotonniers a été faite dans les différents pays. Les données figurent dans le tableau 9. On constate que les hauteurs des

cotonniers sont pratiquement les mêmes dans les différents pays, on n'observe pas de grande différence. En moyen par objet, les hauteurs ont varié entre 110 et 112 cm.

Tableau 9 : Hauteur moyenne des cotonniers dans les différents objets

Pays	Objet		
	Objet 1	Objet 2	Objet 3
Bénin	118	122	115
Burkina Faso	106	103	105
Côte d'Ivoire	111	113	114
Mali	116	117	110
Sénégal	103	106	106
Togo	105	111	110

6.4. Nombre moyen de capsules par hectare

Le nombre moyen de capsules par hectare dans les tests des différents pays figure dans le tableau 10. Les plus faibles nombres de capsules ont été

observés au Mali et les nombres des plus élevés en Côte d'Ivoire. Dans tous les pays, le nombre de capsules dans l'objet 2 a toujours été plus élevé que dans les parcelles des deux autres objets.

Tableau 10 : Estimation du nombre de capsules par hectare

Pays	Objet		
	Objet 1	Objet 2	Objet 3
Burkina Faso	331 491	354 356	353 242
Côte d'Ivoire	385 383	414 658	403 485
Mali	201 010	224 422	204 629
Sénégal	216 036	248 590	214 931
Togo	313 887	342 802	336 550

6.5. Poids moyen capsulaire (PMC)

Le poids moyen des capsules a été estimé dans les différents pays (Tableau 11). D'une manière

générale, le PMC est légèrement supérieur à 4 dans les différences pays, mais en Côte d'Ivoire, il est très proche de 5.



Tableau 11 : Estimation du poids moyen des capsules dans les différents pays

Pays	Objet		
	Objet 1	Objet 2	Objet 3
Bénin	4,4	4,4	4,4
Burkina Faso	4,2	4,3	4,3
Côte d'Ivoire	4,9	5,1	5,1
Sénégal	4,4	4,5	4,3
Togo	5,2	4,7	4,7

6.6. Rendements obtenus dans les différents pays

Les rendements moyens obtenus dans les différents pays figurent dans le tableau 12. Le rendement moyen du complexe coton utilisé dans les différents pays a été de 1 307 kg/ha. Le rendement moyen du complexe coton avec du CaO a été de 1 464 kg/ha, soit une augmentation de 12 % dans l'ensemble des

pays. L'utilisation de ce complexe a permis une augmentation du rendement dans tous les pays.

Le complexe coton avec du CaO et MgO a donné un rendement moyen de 1 389 kg/ha, soit une augmentation de 6 %. A part le Sénégal, l'utilisation de ce complexe a permis une augmentation dans les autres pays.

Tableau 12 : Rendement moyen obtenu dans les parcelles des différents objets par pays.

Pays	Objet			Augmentation de l'objet 2 par rapport à l'objet 1 (%)	Augmentation de l'objet 3 par rapport à l'objet 1 (%)
	Objet 1	Objet 2	Objet 3		
Bénin	1 534	1 658	1 700	8	11
Burkina Faso	1 358	1 504	1 485	11	9
Côte d'Ivoire	1 830	2 000	1 959	9	7
Mali	1 052	1 357	1 175	29	12
Sénégal	949	1 127	921	19	-3
Togo	1 119	1 138	1 096	2	2
Moyenne	1 307	1 464	1 389	12	6

Légende : Objet 1 : témoin NPK pays ; Objet 2 : 14-18-18+5S+1B+2,5CaO ; Objet 3 : 14-18-18+5S+1B+2,5CaO+2,5MgO

6.7. Arrière effet sur le rendement du maïs

Les arrières effets des deux nouvelles formules sur le rendement en maïs graine ont varié d'un pays à l'autre (Tableau 13). En moyenne, aucune

augmentation de rendement n'a été constatée avec l'objet 2 (14-18-18+5S+1B+2,5 CaO). L'augmentation de rendement avec l'objet 3 (14-18-18+5S+1B+2,5CaO+2,5MgO) a été de 3 %.

Tableau 13 : Arrière effet de la fertilisation apportée sur le coton sur le rendement du maïs

Pays	Objet			Augmentation de l'objet 2 par rapport à l'objet 1 (%)	Augmentation de l'objet 3 par rapport à l'objet 1 (%)
	Objet 1	Objet 2	Objet 3		
Bénin	2 439	2 513	2 536	3	4
Burkina Faso	2 021	2 120	2 013	5	0
Côte d'Ivoire	3 341	3 237	3 321	-3	-1
Mali	4 340	3 576	4 340	-18	0
Sénégal	2 366	2 430	2 866	3	21
Togo	2 253	2 247	2 171	0	-4
Moyenne	2 793	2 687	2 875	-4	3

VII. DISCUSSION

Dans la plupart des pays producteurs de coton, le cumul annuel de la pluviométrie ne semble pas être un bon indicateur de la disponibilité de l'eau pour les cultures, car sa distribution spatio-temporelle est très souvent mauvaise. L'analyse de la pluviométrie du mois de juin, le plus propice au semis du cotonnier,

a montré une très grande variabilité entre les décades de la même année, avec souvent des décades sans pluie. La date optimale de semis du cotonnier se situe dans la deuxième décade du mois de juin. Dans les six pays du PR-PICA le coton continue à être semé pendant la troisième décade du mois de juin et la première décade du mois de juillet. Certaines années,



le coton est semé dans la deuxième décennie du mois de juillet. Quand la pluie est bien répartie, le cotonnier a besoin d'environ 600 mm d'eau durant son cycle de culture (Cetin et Bilgel, 2002).

Les prélèvements de sols effectués avant le démarrage des pluies ont donné des valeurs supposées être les plus faibles qu'on puisse observer au cours de l'année selon les travaux réalisés par Sissoko (2009). Sur l'ensemble des pays du PR-PICA, les pH eau ont varié entre 4,7 et 6,3. Quand la valeur de pH eau est supérieure à 6, le pH n'a pas d'effet négatif sur la vie microbienne et sur les formes chimiques des éléments nutritifs du sol selon Bertrand et Gigou (2000). Cet élément est facile à déterminer, mais il n'est certainement pas le seul paramètre permettant de bien apprécier des propriétés du sol. D'autres paramètres comme la Capacité d'Echange Cationique, les bases échangeables, la teneur en matière organique etc. peuvent fournir des informations intéressantes. Les paramètres évalués (pH, azote, phosphore total et assimilable, le potassium, le calcium, le magnésium, et la capacité d'échange cationique) montrent que les sols de la zone cotonnière dans les différents pays du PR-PICA sont pauvres.

Les densités moyennes (nombre de plants par hectare) observées dans les parcelles de cotonnier dans les six pays du PR-PICA sont faibles (54400 plants/ha). Certains pays ont moins de 37900 plants/ha. Cette faiblesse de densité peut affecter le rendement du cotonnier. Cependant, certains auteurs ont montré qu'il n'y a pas de relation précise entre le nombre de poquets à la récolte et le rendement obtenu dans les différents systèmes de culture. Entre 30000 et 40000 poquets. ha⁻¹, les rendements varient fortement entre 1 et 2,3 t.ha⁻¹ en fonction des systèmes de culture. Bednarz et al. (2000) ont montré que le rendement n'est pas influencé par des densités variant entre 2,5 à 23 poquets/m². Rapidel et al. (2006) ont obtenu des rendements statistiquement équivalents avec des densités variant entre 34000 et 48300 plants. ha⁻¹. Ceci s'explique par l'ajustement du pourcentage des capsules sur les différentes positions qui annule l'effet de la forte densité. Sekloka et al. (2016) ont trouvé qu'à faible densité, les cotonniers sont plus florifères et retiennent mieux leurs capsules, les nombres moyens de sites fructifères par plants et les taux de rétention sont plus élevés à 42000 plants.ha⁻¹ qu'à 125000 et 167000 plants.ha⁻¹. A l'inverse Smith et al. (1979) ont montré que la production de coton graine est significativement différente pour des fortes densités (170 000 poquets.ha⁻¹) comparés aux faibles densités (34 000 poquets.ha⁻¹).

Les différents niveaux de fertilisations utilisées n'ont pas eu d'effet sur la hauteur des cotonniers. Les cotonniers cultivés dans les pays du PR-PICA sont du genre *Gossypium* L., famille des *Malvaceae*. Ce sont des arbustes qui ont une hauteur variant entre 80 centimètres à 2 mètres de hauteur (Crétenet et

Gourlot, 2016). Les hauteurs moyennes obtenues cachent l'effet des retards de semis sur la taille des cotonniers. Sekloka et al. (2015) ont montré qu'en retardant de semis d'un mois par rapport à la date de semis recommandée, toutes les variétés subissent une réduction de taille (au moins 10 cm de différence) et du nombre de nœuds (au moins 3 nœuds) sur la tige principale et un raccourcissement des branches végétatives (moins 15 cm en fonction de la densité).

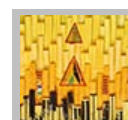
Les variétés de cotonnier utilisées dans les différents pays sont très proches car venant du même fond génétique. Le pool génétique constitué uniquement de *G. hirsutum* est de plus en plus appauvri puisqu'il n'a plus été alimenté depuis l'arrêt des activités de l'IRCT (Institut de Recherches du Coton et des Textiles exotiques) en Afrique (Dessauw et Hau, 2006 ; N'Doye et al., 2011).

La fertilisation minérale apportée a un effet sur le nombre de capsules. Dans toutes les pays, la formule du complexe enrichie avec du CaO a donné les meilleurs nombres de capsules par hectare. Une amélioration du rendement a été constatée avec les deux formules. L'utilisation de la formule avec du CaO a permis une augmentation moyenne de 12% dans l'ensemble des pays.

L'arrière effet de la fertilisation minérale utilisée sur le cotonnier n'est pas très perceptif sur le rendement du maïs. Le cotonnier prélève la totalité de la fertilisation minérale qu'on lui apporte.

REFERENCES

- AICB. 2008. Note d'Information sur la filière coton du Burkina. Ouagadougou, Burkina Faso.
- B. Rapidel, C. Defeche, B. Traore, J. Lançon, J. Wery J.. In-field development of a conceptual crop functioning and management model: A case study on cotton in southern Mali. *European Journal of Agronomy*, 24: 2006, 304-315. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.10.012>
- C. W; Bednarz, D. C; Bridges, S. M; Brown. Analyse de la stabilité du rendement du coton à travers les densités de population. *Agron. J.* 92 : 2000, 128-135. DOI : 10.2134/agronj2000.921128x.
- C. W. Smith, B. A. Waddle, H. H. Jr. Ramey. Plant Spacings with irrigated Cotton. *Agronomy journal*, 71 : 1979, 858-860. DOI : <https://doi.org/10.2134/agronj1979>
- D. Dessauw, B. Hau B. Inventory and history of the CIRAD cotton (*Gossypium* spp.) germplasm collection. *Plant Genet. Resour. Newsl.*, 2006, 148 : 1-7.R. Bertrand, J. Gigou. *La Fertilité des Sols Tropicaux*. Maisonneuve et Larose : Paris. 2000
- E. Sekloka, J. Lançon, M. Batamoussi, G. Thomas. La réduction de la croissance végétative à forte densité de semis comme stratégie d'adaptation



variétale aux semis tardifs en culture cotonnière pluvial au Bénin. *Tropicultura* 33 (4) :2015, 299-308 <http://www.tropicultura.org/eng/content/v33n4.html>

E. Sekloka, J. Lançon, V. A. Zinsou, G. Thomas. Influence des conditions de culture sur la production de capsules chez le cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) en conditions de culture pluviale au Bénin. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 20 (2): 2016, 161-170. DOI: 10.25518/1780-4507.12904

F. Sissoko. 2009. Analyse des flux d'eau dans les systèmes de culture sous couverture végétale en zone Soudano sahélienne : Cas du coton semé après une culture de Sorgho/*Brachiaria* au Sud du Mali. Thèse de doctorat de SupAgro, Montpellier, p. 169.

K. Hussein, C. Perret, L. Hitimana. *Importance économique et sociale du coton en Afrique de l'Ouest : Rôle du coton dans le développement, le commerce et les moyens d'existence.*

Transformation de l'agriculture et Développement durable en Afrique de l'Ouest. 72. Paris

L. Goreux. Réformes des filières cotonnières en Afrique subsaharienne. Ministère français des Affaires étrangères. 2003.

M. Crétenet, J. P. Gourlot. *Le cotonnier*. Editeur Quae, collection Agricultures tropicales : Versailles. 2016

O. Cetin, L. Bilgel. Effets of different irrigation methods on shedding and yield of cotton. *Agricultural Water Management*, 54 (1):2002 1-15. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(01\)00138-X](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(01)00138-X)

O. N'Doye, H. Roy-Macaulay, M. D. Faye, A. Sangare, P. Sérémé. La recherche cotonnière en Afrique de l'Ouest et du Centre. In *Glocal, revue africaine sur le commerce et le développement*, N° 4 mars-avril 2011, Numéro spécial sur le coton, 37-39.



Séquestration de carbone par les arbres des systèmes agroforestiers en zone soudanienne de la région de Dioïla au Mali

Siriki Fané^{1*}, Maharazu A. Yusuf², Yorombe dit Yoro Karembe³, Fadiala Dembélé⁴ et Moussa Karembe⁵

^{1,4}Département du Génie Rural et des Eaux et Forêts, Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou, Koulikoro, Mali, Koulikoro, Mali

²Department of Geography, Bayero University Kano, Nigeria

³Département de Géographie, Faculté d'Histoire et Géographie de l'USSGB, Mali

⁵Département de Biologie, Laboratoire d'Ecologie Tropicale, Faculté des Sciences et Techniques de l'Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Bamako, Mali

*Adresse de correspondance : faneski08@gmail.com

RESUME : Cette étude est une contribution à l'estimation de la capacité de séquestration du carbone des systèmes agroforestiers de la zone écologique soudanienne du Mali. Il a été réalisé dans la région de Dioïla. Dans cette étude il a été exploité à la fois les données primaires produites à partir de l'utilisation des fiches d'inventaire forestier et les données secondaires générées par le Service technique des Eaux et Forêts du Mali. La méthode d'échantillonnage stratifié à deux degrés a été utilisée. Des mesures dendrométriques et de sylvicultures ont été effectuées dans les systèmes agroforestiers rencontrés dans la zone d'étude (région de Dioïla). Différents logiciel d'analyse et de traitements de données ont été utilisés pour la gestion des données collectées. La quantité de carbone séquestrée varie en fonction du système agroforestier dans la région de Dioïla. Il ressort des résultats que le taux de carbone séquestré par les systèmes agroforestiers est fonction des techniques d'entretien de ces systèmes. La capacité de séquestration des systèmes agroforestiers est estimée à 53 t C. ha⁻¹ pour une quantité totale de 195 t CO₂.ha⁻¹. Le taux de carbone séquestré est différent d'un système à un autre. Il est estimé à 26 t C. ha⁻¹ dans le système Jachère suivi du système Savane verger (19 t C. ha⁻¹) et le taux de carbone séquestré par le système Plantation demeure le moins important avec 8 t C. ha⁻¹ soit 15% du total de carbone séquestré par l'ensemble des systèmes agroforestiers. Le taux de carbone séquestré par les arbres dans les systèmes agroforestiers diminue en fonction de la texture du sol dans le sens des sols les plus fins aux sols les plus Caillaux. Ces placettes d'observation méritent une augmentation du nombre pour plus de précision des stocks de carbone et un suivi à long terme pour mieux cerner les mécanismes de fonctionnement du flux de carbone des systèmes agroforestiers suite aux facteurs écologiques déterminants.

Mots-clés : Carbone, Séquestration, Arbre, Système agroforestier, Mali.

I. INTRODUCTION

L'agriculture est et restera pendant des décennies l'épine dorsale de millions de moyens de subsistance dans la région du Sahel en Afrique de l'Ouest (Bélières, 2013). En janvier 2018, le taux de croissance annuel moyen du produit intérieur brut (PIB) agricole du Mali était de 5,2 %, ce qui fait du secteur le plus dynamique du pays (Trading Economics, 2018).

Malgré le fait que la plupart des petits agriculteurs des zones subsahariennes pratiquent l'agriculture de subsistance, elle a un grand potentiel de croissance économique du Mali, du Burkina Faso et du Sénégal, où elle contribue à hauteur de 41 %, 40 % et 16 % au PIB, respectivement (Banque mondiale, 2015 ; Ouédraogo, 2010). La durabilité et le maintien de l'agriculture dans une situation économique et climatique désastreuse ont été soutenus par un système de production mixte de longue durée. Cette production diversifiée ou mixte est soutenue par des systèmes d'agroforesterie (Schlecht et coll., 2006). Dans les zones sahéliennes plusieurs types de systèmes agroforestiers sont adoptés tels comme, le

système parc agroforestier, jachère, bande riveraine, verger, brise-vent, banque fourragère, sylvopastoralisme etc... (SHELTON, 2000 ; Karembe et al., 2001 ; De Baets et al., 2007a, b ; Gordon, 2008 ; Anel, 2009 ; ICRAF, 2009 ; Walters, 2010). Par ces systèmes et leurs produits, l'agroforesterie est aujourd'hui le moteur de la productivité des petits agriculteurs qui n'ont pas beaucoup de sources économiques pour payer les engrais chimiques et ses produits, tels que beurre de karité (*Vitellaria paradoxa* C.F.Gaertn.), la gomme arabe (*Acacia senegal* (L.) Willd.), le fourrage (*Pterocarpus erinaceus* Poir.), pain de singe (*Adansonia digitata* L.), et Saba (*Saba senegalensis* (A.DC.)), sont très utiles et des sources de motivation d'entretien de ce système (ICRAF, 2009 ; Biao et al., 2016 ; Dembele et al., 2018). Outre à l'âge égal, ces espèces agroforestières séquestrent 3 fois plus de carbone que les espèces poussées naturellement dans les formations forestières sachant que l'agriculture conventionnelle produit 13,5 % du total des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) (GIEC, 2007 ; Nation Unie 2009). Selon Oelbermann et al (2004), les systèmes agroforestiers



pourraient séquestrer dans leurs biomasses aériennes 2,1 Gt C/an en zone tropicale.

Au Mali, les agriculteurs par l'adoption et l'entretien de ces systèmes agroforestiers contribuent à la séquestration de carbone par conséquent contribuent significativement à l'adaptation et à l'atténuation des effets du changement climatique à travers le potentiel de séquestration de carbone des arbres que composent ses systèmes (Hamon et al., 2009 ; Fané, 2017 ; Fané et al., 2018). Aussi l'adoption du système agroforestier, en termes d'utilisation de surface au Mali, pourrait être un moyen intéressant d'atteindre les objectifs de réduction d'émissions de GES. Mais le potentiel de carbone net que séquestrent ces systèmes reste peu connu. Alors que ce potentiel de séquestration de carbone des systèmes agroforestiers pourrait également être acheté et échangé sur le marché mondial du carbone (Hamon et al., 2009 ; Nair et al. 2009b ; Laport, 2010 ; AGCC, 2019). Compte tenu de la superficie mondiale emblavée en agroforesterie estimée à environ 1 milliard d'hectares (Nair et al. 2009a). Au Mali avec le 39% de sa superficie occupée par les différents systèmes agroforestiers (PIRL, 1990), l'environnement des systèmes agroforestiers est confronté à de nombreux déficit socioéconomiques, anthropiques que climatiques au point de la menace de leur productivité. Car la survie des écosystèmes savanicoles y compris les systèmes agroforestiers est fonction de leur capacité d'adaptation et de résilience aux effets des différents facteurs écologiques (Godron, 1984 ; Maïga, 1999 ; Floret et Pontanier, 2000).

Si nombreuses sont les études sur les systèmes agroforestiers au Mali, rares sont ceux qui ont adressé leurs travaux à la séquestration de carbone dans les différents systèmes agroforestiers. La plupart des études se sont focalisées sur les impacts du changement climatique sur la production agricole, la fertilité du sol agroforestier, le carbone individuel des arbres et la perception paysanne (MERTZ et al., 2009 ; TRAORE et al., 2015 ; SANOGO et al., 2016a ; Guissou et al., 2016 ; Amadou et al., 2018). Cependant, on dispose de peu d'informations sur les effets du système agroforesterie adoptée sur la quantité de carbone séquestrée par les arbres de ces systèmes (FANE et al., 2018).

Vu l'importance du service environnemental peu connu des systèmes agroforestiers et compte tenu des menaces du changement climatique, les pratiques agroforestières doivent être encouragées afin d'atténuer les effets climatiques tels que les inondations et les périodes de sécheresse, améliorant ainsi les moyens de subsistance des petits agriculteurs des pays sahéliens. Pour ce faire, il est impératif de maîtriser ces services et pratiques. C'est dans cette perspective que ce travail initié pour

objectif –(i) évaluer le potentiel de production de biomasse ligneuse des systèmes agroforestiers –(ii) évaluer et comparer le potentiel de séquestration de carbone des différents systèmes agroforestiers identifiés dans la zone d'étude.

II. MATERIEL ET METHODES

Le cadre conceptuel de recherche pour ce travail sur la séquestration de carbone par les arbres des systèmes agroforestiers dans la zone soudanienne de la région de Dioïla au Mali, était essentiellement basé sur l'inventaire forestier dans lequel plusieurs équipements de collecte de données ont été utilisés tels que : GPS, ruban tailleur, poteau de six mètres.

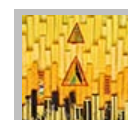
2.1. Zone d'étude

Pour mieux cerner la séquestration de carbone des systèmes agroforestiers en zone Soudanienne au Mali, il a été retenu la région de Dioïla (Fané, 2017). Ce choix s'explique par le niveau d'adoption des systèmes agroforestiers, la diversité végétale, l'accessibilité et sa position géographique correspondante au mieux aux caractéristiques des zones soudanienne au Mali. Il est situé dans la partie sud-est de la région de Koulikoro avec une superficie de 12 794 km², une population estimée à 387 565 habitants et une densité de 30,58 habitants / km². Les groupes ethniques dominants sont les Bambaras, les Somono, les Bozo, les Fulani et les Marka (USAID, 2012).

Le climat est de type soudanien chaud et humide, avec des précipitations annuelles moyennes élevées pouvant atteindre 800 mm / an. La température annuelle moyenne est de 26,9 ° C avec un maximum de 31,9 ° C en mars-avril. Les sols sont principalement de cinq types : graveleux, loam sableux, loam argileux, sableux et argileux dans les zones de dépression. La végétation est principalement constituée d'écosystèmes de savane (prairies, terres arbustives, savane, forêt, forêt-galerie, forêt ouverte). L'agriculture est l'activité principale des populations dans cette zone, les principaux types de cultures étant le sorgho, le coton, le maïs et le riz (Figure 1).



Figure 1: Zones bioclimatiques du Mali, Source: LET.



2.2. Collecte de données

Les données quantitatives relatives à la perturbation anthropique, au diamètre au collé, au diamètre à la hauteur de poitrine d'Homme, la hauteur, le recouvrement et à la composition des différentes espèces d'arbres dans les systèmes agroforestiers ont été collectées. Deux sources de données, à savoir primaire et secondaire ont été utilisées. Les données primaires ont été générées à partir de l'utilisation des fiches d'inventaire forestier. Tandis que, les données secondaires ont été générées par le Service des Eaux et Forêts du Mali. En outre, d'autres sources d'information liées à la végétation et aux unités d'occupation dans la zone Soudanienne du Mali ont été exploitées.

2.2.1. Cadre d'échantillonnage

Pour la collecte de données, la méthode d'échantillonnage stratifié à deux degrés a été adoptée en raison de la disponibilité de temps et de la ressources financière. La base de données cartographique de CIFOR-Mali dans laquelle les différents systèmes agroforestiers sont déjà numérisés sous forme de formation végétale. Cette base de données a été produite afin de minimiser autant que possible la variabilité des variables pour estimer la densité des tiges par hectare et mesurer le volume de bois. Nous avons extrait la zone d'intérêt (Région de Dioïla) de cette base de données pour identifier les différents systèmes agroforestiers dans la zone d'étude à l'aide du logiciel de cartographie et de télédétection (ArcGIS.10.3).

Chaque type de système est représenté par un groupe de strates. Principalement trois (3) systèmes agroforestiers ont été identifiés et confirmés par les résultats des collectes de données.

2.2.2. Dimension des placettes

Les placettes et les sous-placettes circulaires ont été choisies en fonction des conditions écologiques de la zone d'étude et du type d'inventaire. Le diamètre de la parcelle a été fixé à 250 mètres et celui des sous-parcelles à 50 mètres avec un rayon de 25 mètres. La superficie des sous-parcelles est de 0,19625 ha, ce qui correspond à un puits de 1962,5 m², supérieur au minimum de la superficie de 1000 m² (Sylla, 1987). Chaque parcelle est constituée de cinq sous-placettes d'une superficie de 0,98125 ± 1 hectare (fig2).

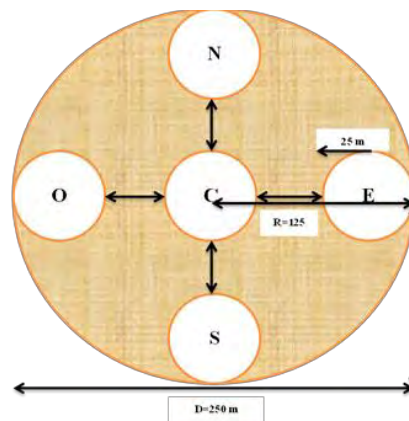


Figure 2 : Formes et dimensions de la placette d'échantillonnage

NB : N = Nord; E = Est; S = Sud; O = Ouest; R = couche; D = Diamètre.

2.3. Evaluation du potentiel de production de biomasse ligneuses des systèmes agroforestiers

Pour mesurer les paramètres des différents arbres afin de calculer la production, il a été adopté la méthode de l'inventaire forestier / dendrométrie. La formule de Morel a été utilisée pour calculer le volume du bois.

(i) L'inventaire forestier ou l'inventaire dendrométrique

Pour l'évaluation de la biomasse des arbres, un inventaire dendrométrique a été réalisé dans chaque parcelle d'inventaire (sous-placette) pour chaque système agroforestier.

Dans chaque parcelle d'unité inventoriée, chaque tige ayant une circonférence de base supérieure ou égale à 10 cm, la circonférence à la base (C0, 0), la circonférence à la hauteur (C1, 30) et la hauteur totale (H); a été mesuré. Le choix de cette circonférence de base supérieure ou égale à 10 cm s'explique par le fait que les tiges de cette taille et plus grandes sont utilisées comme bois de chauffage. En revanche, toutes les tiges ayant une circonférence de base inférieure à 10 cm ont été rejetées. Ces mesures ont été faites en utilisant les rubans de tailleur et les étriers forestiers.

(ii) Calcul de la biomasse des espèces d'arbres

✓ Calcul de la biomasse aérienne

Selon l'inventaire, le volume de bois ou de biomasse aérienne de chaque espèce a été déterminé à partir de la formule développée par Morel (1987) au Mali avec le logiciel Excel.

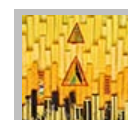
$$V = 10 \times G \times P$$

- V: volume de Woody en m³

- 10: constante

- G: surface basale en m²;

- P: précipitations annuelles moyennes sur le site ou la station la plus proche en (cm).



✓ Calcul de la biomasse souterraine

La biomasse terrestre de chaque espèce a été calculée en utilisant le guide d'estimation de la séquestration au Mali. La biomasse souterraine des arbres est le volume ou le poids du système racinaire. Au Mali, il a été estimé à 50% du volume total de bois sur pied projet ILWAC (2013).

Ainsi, il a été utilisé cette formule : $C_{(racine)} = (V * 1/2) * 0,27$

2.4. Evaluation et comparaison du potentiel de séquestration de carbone des différents systèmes agroforestiers identifiés

(i) Conversion de la biomasse en carbone

Pour convertir le volume de bois calculé de carbone forestier séquestrés par différentes espèces d'arbres des systèmes agroforestiers, les équations suivantes ont été utilisées avec le logiciel Excel :

1 m³ de bois exploité = 1 tonne de CO₂ = 0,27 tonne de carbone (ILWAC, 2013).

(ii) Détermination de la séquestration du carbone par les espèces d'arbres

Pour déterminer le potentiel de séquestration de carbone des espèces d'arbres pour chaque système agroforestier, nous avons fait le rapport entre carbone séquestré par les différentes espèces d'arbres et le nombre de sous-placettes de chaque système agroforestier. La quantité de carbone séquestrée par chaque système a été rapporté à l'hectare en considérant superficie calculée des sous-placettes (1962,5 m²).

2.5. L'analyse des données

Les données collectées ont été saisies à l'aide du logiciel Excel Office 2016. 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 production de biomasse, au carbone des différents systèmes agroforestiers dans la zone soudanienne de la région de Dioila. La biomasse et carbone concernent à la production de biomasse et stock de carbone de la partie aérienne et souterraine des espèces ligneuse uniquement. Le carbone forestier du sol et foliaire des arbres ne sont pas prise en compte dans cette étude.

3.1. Production de biomasse dans les systèmes agroforestiers

La production de la masse forestière ligneuse varie en fonction du système agroforestier sous les conditions de la zone soudanienne. La production de biomasse totale estimée a été de 110 t. ha⁻¹ dans

l'ensemble des systèmes agroforestiers identifiés. La biomasse disponible dans les systèmes Jachères évaluée à 53 t. ha⁻¹ soit 48% de la biomasse total dans l'ensemble des systèmes agroforestiers suivi par le système Savane verger ou parc agroforestier avec une production de 40 t. ha⁻¹ soit 37% (Tableau 1). Ce résultat de la production de biomasse est largement supérieur à ceux obtenu par MALIKI et al. en 2002, qui après une étude d'Impact agronomique de quelques systèmes agroforestiers dans la région des savanes au centre du Bénin trouve que la production de biomasse est estimée à 18 t. ha⁻¹ de matière sèche. Cette différence pourrait s'expliquer par la différence d'âge des Jachères car dans notre cas il y a des vieilles Jachères avec des gros arbres. Par contre des résultats similaires ont été obtenu par Kapoury et al. (2018a) dans les parcs agroforestiers dans le Mali-sud sous les mêmes conditions bioclimatiques. Le système plantation est le plus faible en biomasse ligneuse comparativement aux deux autres systèmes avec 17 t. ha⁻¹ trois fois moins que celle du système Jachère (53 t. ha⁻¹). Ce résultat confirme celui de Ariel et al., (1988) qui stipule que la production de biomasse des zones tropicales est comprise entre 1 et 30 t. ha⁻¹.

Tableau 1 : Quantité de biomasse produite par les arbres dans les systèmes agroforestiers

Systèmes Agroforestiers	Volume aérienne	Volume souterraine	Volume total
	t. ha ⁻¹	t. ha ⁻¹	
Jachère	35	18	53
Savane Verger	27	13	40
Plantation	11	6	17
Total	74	37	110

3.2. Séquestration de carbone dans les systèmes agroforestiers

La séquestration de carbone par les arbres des systèmes agroforestiers dans les conditions biophysiques égales est fonction de la biomasse disponible dans ces systèmes. Le taux de carbone séquestré par les systèmes agroforestiers est aussi fonction des techniques d'entretien de ces systèmes. La capacité de séquestration des systèmes agroforestiers de la zone étudiée est estimée à 53 t C. ha⁻¹ pour une quantité totale de CO₂ stockée de 195 t CO₂/ha. Le taux de carbone séquestré est différent d'un système à un autre. Il est estimé à 26 t C. ha⁻¹ dans le système Jachère suivi du système Savane verger (19 t C. ha⁻¹). Ces résultats sont similaires à ceux de Saïdou et al., (2012), rapporte que le stock de carbone que la biomasse aérienne est estimé à 20



t C. ha⁻¹ contre 4,42 t C. ha⁻¹ pour la partie souterraine dans les parcs agroforestiers. Le taux de carbone séquestré par le système Plantation demeure le moins important avec 8 t C. ha⁻¹ soit 15% du total de carbone séquestré par l'ensemble des systèmes agroforestiers de la zone d'étude (Tableau 2). Cette faible séquestration de carbone par les plantations pourrait s'expliquer par le fait que dans la zone, ce système n'est pas assez développé et ce sont les espaces inappropriés pour la culture céréalière et maraîchère qui sont destinés à la plantation.

Tableau 2 : Séquestration de carbone dans les systèmes agroforestiers

Systèmes Agroforestiers	Carbone aérien	Carbone Souterraine	Carbone total
	t. ha ⁻¹	t. ha ⁻¹	
Jachère	17	9	26
Savane Verger	13	6	19
Plantation	5	3	8
Total	35	18	53

	CO ₂ aérien	CO ₂ souterrain	CO ₂ Total
	t. ha ⁻¹	t. ha ⁻¹	
Jachère	62	31	94
Savane Verger	48	24	71
Plantation	20	10	30
Total	130	65	195

Les systèmes agroforestiers de la zone bioclimatique Soudanienne sont aussi des réservoirs de dioxyde de carbone (CO₂). Dans ces conditions, les Jachères sont les meilleurs réservoirs de CO₂ dont le taux de séquestration est de 94 t CO₂. ha⁻¹ suivi du parc verger (71 t CO₂. ha⁻¹) contre 30 t CO₂. ha⁻¹ pour le système plantation (Tableau 2). Ce scénario pourrait s'expliquer par le fait que dans le comportement des populations de la zone, chaque jachère a un propriétaire qui a le droit coutumier sur son exploitation. Cela fait aussi que ce système est la zone de préférence des pâtures et de collecte des produits forestiers non ligneux. Cet entretien contribue donc la conservation et à la diversification de ce système lui conférant un potentiel de développement de ses ressources végétales. Les résultats similaires ont été observé par ASDI (2020) dans le cadre du projet de travail individuel au Bénin. Selon Ostadhashemi et al., (2014), la séquestration de carbone est très variable dans les plantations. Elle

est surtout fonction des caractéristiques des espèces plantées et des objectifs de la plantation.

3.3. Séquestration de carbone par les arbres des systèmes agroforestiers en fonction de texture du sol

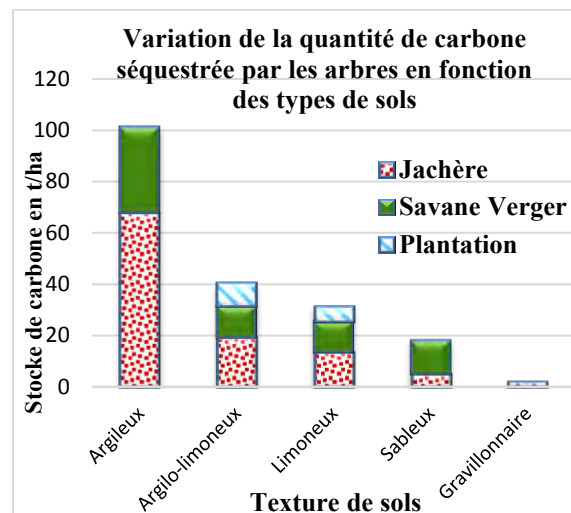
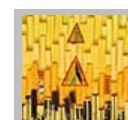


Figure 3 : Variation de la quantité de carbone séquestrée dans les systèmes agroforestiers en fonction de la texture du sol

Le taux de carbone séquestré par les arbres dans les systèmes agroforestiers diminue en fonction de la texture du sol dans le sens des sols les plus fins aux sols les plus Caillaux (Figure 3). Le total de carbone séquestré en fonction de la texture du sol est estimé à 193 t C. ha⁻¹ tout système confondu. Le taux de carbone séquestré est plus important sur les sols argileux estimé à 101 t C pour l'ensemble des systèmes agroforestiers qu'ils occupent. ha⁻¹ soit 52% suivi des argilo-limoneux 40 t C. ha⁻¹ soit 21%, limoneux 31 t C. ha⁻¹ soit 16%, Sableux 18 t C/ha soit 9% et les sols gravillonnaires concèdent le plus faible taux de séquestration carbone avec seulement 2 t C. ha⁻¹. Dans les systèmes agroforestiers le taux de séquestration varie en fonction de la texture du sol. Le taux de carbone séquestré dans les Jachères est plus important sur les sols argileux suivi des sols argilo-limoneux et limoneux séquestrant respectivement 68, 19, et 13 t C. ha⁻¹. Ce taux est plus faible sur les sols sableux (5 t C. ha⁻¹) et gravillonnaire (2 t C. ha⁻¹). Par contre le taux de carbone séquestré dans les systèmes parc verger est plus important sur les sols argileux (33 t C. ha⁻¹) et sableux (13 t C. ha⁻¹) que sur les argilo-limoneux et limoneux estimé à 12 t C/ha. Dans les plantations le taux de carbone séquestré est estimé à 9 t C. ha⁻¹ sur les sols argilo-limoneux et 6 t C. ha⁻¹ sur les sols sableux qui sont les sols préférentiels de plantation dans la zone. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les sols argileux suivi des sols argilo-limoneux sont les types de sol les plus riches en nutriment et bien adaptés aux cultures céréalière. La différence de stock entre le système Jachère et savane verger



pourrait être dû à l'appauvrissement du sol. Dans la zone et presque partout dans les zones sahéniennes, plus le sol de culture est pauvre, plus les agriculteurs l'abandonnent pour emblaver sur d'autres terres plus riches. Ceci pourrait expliquer aussi la faible séquestration de carbone sur les types de sols (limono-sableux, sableux et gravillonnaire) qui ne sont pas leurs préférences pour l'agriculture.

3.4. Corrélation entre la circonférence et le stock de carbone dans les systèmes agroforestiers

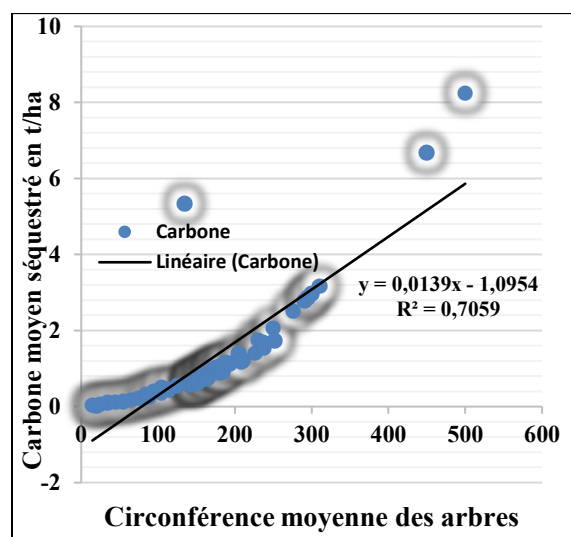


Figure 4 : Relation entre la circonférence des arbres à hauteur de la poitrine d'Homme et le carbone séquestré

L'analyse statistique des résultats illustrée par la Figure 4 montre que la quantité de carbone séquestrée dans les systèmes agroforestiers est liée à la circonférence des arbres à hauteur de poitrine d'homme ($R^2 = 0,70$). Il ressort de l'analyse que plus la circonférence augmente, plus le potentiel de séquestration de carbone est important. Ces résultats corroborent ceux de Amadou et al. (2018) pour les arbres en association avec le riz sous les mêmes conditions biophysiques. Des résultats similaires ont été obtenus par Sanogo et al. (2016b) pour les parcs agroforestiers à karité (*Vitellaria paradoxa*) dans la zone pré-guinéenne et soudanienne Sud du Mali.

IV. CONCLUSION

Les résultats obtenus au terme de la présente étude sont riches en informations. Elle a permis de comprendre partiellement le potentiel de séquestration de carbone et l'effet des systèmes agroforestiers sur le stock de carbone forestier dans la zone soudanienne au Mali.

Le taux de carbone séquestré par les systèmes agroforestiers est fonction des techniques d'entretien de ces systèmes. La capacité de séquestration des systèmes agroforestiers est estimée à 53 t C. ha⁻¹ pour une quantité totale de 195 t CO₂. ha⁻¹. Le taux de carbone séquestré est différent d'un système à un

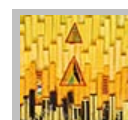
autre. Il est estimé à 26 t C. ha⁻¹ dans le système Jachère suivi du système Savane verger (19 t C. ha⁻¹) et le taux de carbone séquestré par le système Plantation demeure le moins important avec 8 t C. ha⁻¹ soit 15% du total de carbone séquestré par l'ensemble des systèmes agroforestiers.

Le taux de carbone séquestré par les arbres dans les systèmes agroforestiers diminue en fonction de la texture du sol dans le sens des sols les plus fins aux sols les plus Caillaux.

Ces placettes d'observation méritent une augmentation du nombre pour plus de précision des stocks de carbone et un suivi à long terme pour mieux cerner les mécanismes de fonctionnement du flux de carbone des systèmes agroforestiers suite aux facteurs écologiques déterminants.

REFERENCES

1. AM. GORDON, « Agroforestry in the world: lessons for Canada », dans Options Politiques, février, 2008, pp50-53.
2. ANEL Bertrand, « De la multifonctionnalité de l'agriculture à l'agroforesterie : Le projet de mise en valeur de l'espace rural de la MRC du Rocher-Percé (février 2005 – août 2009), Réalisations et réflexions », CLD du Rocher-Percé, 2009, 83 pages.
3. ASDI, projet de travail individuel, Identification et classification des espèces utilisées en agroforesterie ayant un potentiel élevé en séquestration de carbone et appropriés aux différents sols du Bénin. Rapport PTI Asdi eunice (Projectplace_124755). www.weadapt.org/sites/weadapt.org. Consulté le 10 Juin 2020.
4. B. TRAORÉ, MT. VAN WIJK, K. DESCHEEMAER, M. CORBEEIS, MC. RUFINO, KE. GILLER, Climate Variability and Change in Southern Mali: Learning From Farmer Perceptions and on-Farm Trials. Experimental Agriculture, 2015, 51(4): 615-634.
5. E. Lugo, S. Brown, J. Chapman, An analytical review of production rates and stem wood biomass of tropical forest plantations, Forest Ecology and Management, Volume 23, Issues 2-3, February 1988, Pages 179-200.
6. E. Schlecht, A. Buerkert, E. Tielkes, and A. Bationo, A critical analysis of challenges and opportunities for soil fertility restoration in Sudano-Sahelian West Africa. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2006, 76, 109-136.
7. GIEC, Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat



[Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de~)]. GIEC, Genève, Suisse, 2007, 103 p.

8. H. Amadou, K. SANOGO, F. CISSE, K. YATTARA, Potentiel d'adaptation des variétés de riz à la variabilité climatique et estimation du stock de carbone aérien des espèces végétales en riziculture pluviale au Mali. Science et technique, Sciences naturelles et appliquées. Spécial hors-série n° 4 — Janvier 2018.

9. JF. Bélières, P. Bonnal, PM. Bosc, B. Losch, J. Marzin, JM. Sourisseau, V. Baron, J. Loyat, G. Etienne, C. Lutringer, N. Faysse, E. Léonard, Les agricultures familiales du monde : Définitions, contributions et politiques publiques. Montpellier: CIRAD, 2013, 281 p.

10. K. SANOGO, J. BINAM, J. BAYAIA, GB. VILLAMOR, A. KALINGANIRE, S. DODIOMON, Farmers' perceptions of climate change impacts on ecosystem services delivery of parklands in southern Mali. 2016A, Agroforestry Systems, doi 10.1007/s10457-016-9933.

11. K. SANOGO, J. BINAM, J. BAYAIA, GB. VILLAMOR, A. KALINGANIRE, S. DODIOMON, Potential of dendrochronology in assessing carbon sequestration rates of *Vitellaria paradoxa* in southern Mali, West Africa. Dendrochronologia, 2016B, 40 : 26-35.

12. M. Godron, Ecologie de la végétation terrestre. Paris: Masson, 1984.

13. M. Karembé, Production végétale et utilisation des ressources pastorales des jachères en zone soudanienne au Mali. Thèse de Doctorat, Université du Mali, 2001, 159 p.

14. M. Oelbermann, R.P. Voroney et A.M. Gordon, Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada. Agric. Ecosyst. Environ, 2004, 104 : 359-377.

15. M. Ouédraogo, Y. Dembélé, and L. Somé, Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations: cas des paysans du Burkina Faso. 2010, Sécheresse 21 (2), 87-96.

16. M. SHELTON, « Légumineuses fourragères tropicales dans les systèmes d'agroforesterie », *Unasylva – Revue internationale des forêts et des industries forestières*, 2000, Vol. 51, pp.25-32.

17. N. DE BAETS, A. VÉZINA, et S. GARIÉPY, « Le portrait de l'agroforesterie au Québec – Sommaire exécutif », Agriculture et

Agroalimentaire Canada, Gouvernement du Canada, 2007a, 16 pages.

18. N. DE BAETS, A. VÉZINA, et S. GARIÉPY, « Le portrait de l'agroforesterie au Québec », Agriculture et agroalimentaire Canada, Gouvernement du Canada, 2007b, 88 pages.

19. O. MERTZ, C. MBOW, A. REENBERG, A. DIOUF, Farmer's perceptions of climate change and agricultural strategies in rural Sahel. *J Environ Manage*, 2009, 4: 804-816.

20. Ostadhashemi R., Rostami Shahraji T., Roehle H., Mohammadi Limaie S. (2014): Estimation of biomass and carbon storage of tree plantations in northern Iran. *J. For. Sci.*, 60: 363-371.

21. PKR. NAIR, B.M. KUMAR, V.D. NAIR, Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *J. Plant Nutri. Soil Sci.* 2009a, 172, 10–23.

22. PKR. NAIR, V.D. NAIR, B.M. KUMAR, S.G. HAILE, Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems: a feasibility appraisal. *Environmental Science and Policy*, in press, 2009b.

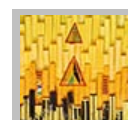
23. R. MALIKI, F. AMADJI, ADJE1, C. ENGLEHART et K. TEBLEKOU, Impact agronomique de quelques systèmes agroforestiers dans la région des savanes au centre du Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique N° 35 - MaIS* 2002.

24. S. Fané, F. Dembélé, M. Karembé, and N. Hanan, Effets des perturbations anthropiques et du couvert ligneux sur la production et le recouvrement de la strate herbacée suivant le Gradient Climatique au Mali. Premier Colloque International de l'Université de Ségou, du 13 au 16 Octobre, Ségou, Mali. 2017, 11 p.

25. S. S. H. BIAOU, A. K. NATTA, A. DICKO et M.M. KOUAGOU, Typologie des systèmes agroforestiers et leurs impacts sur la satisfaction des besoins des populations rurales au Bénin. ISSN sur papier (on hard copy) : 1025-2355 et ISSN en ligne (on line) : 1840-7099, novembre 2012.

26. T. Guissou, HA. Babana, KB. Sanon, and AM. Ba, Effects of arbuscular mycorrhizae on growth and mineral nutrition of greenhouse propagated fruit trees from diverse geographic provenances. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 2016, 20(3), 417-426.

27. X. Hamon, C. Dupraz, F. Liagre, L'Agroforesterie Outil de Séquestration du Carbone en Agriculture. 2009, <http://agroforesterie.fr/CASDAR/20062008/casdar0608.html>. Consulté le 09/06/2020.



Effet de la chaux agricole sur l'acidité des sols de différentes zones de productions agricoles du Mali

Traoré Idrissa¹, Guindo Sekou Sala^{1*}, Dambe Souleymane², Koné Mama¹, Diakité Tiemakan¹ Maiga A. Dadda¹ et Sarra Mamadou¹

¹Institut d'Economie Rurale

² Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako

*Courriel du correspondant : sekousguindo@yahoo.fr

RESUME : La production agricole au Mali est faible à cause des mauvaises pratiques agricoles et surtout l'utilisation d'engrais ammoniacaux acidifiants. Pour pallier cette contrainte, des essais en pots de végétation ont été effectués sur les sols de différentes zones de productions agricoles du Mali. Trente-neuf (39) échantillons de sols de 4 zones de production agricole ont été utilisés pour l'incubation avec de la chaux agricole de Carrière et Chaux du Mali (CCM)-Sa pour corriger l'acidité. Il s'agit des zones de l'Office de la Haute Vallée du Niger (OHVN), de la Compagnie Malienne de Développement Textile (CMDT), de l'Office du Niger (ON) et des Sucreries du Kala (SUKALA). La caractérisation des sols a montré des textures légères et très pauvres en argile. Ces sols sont faiblement acides à moyennement acides avec des teneurs en matières organiques variables en fonction des zones de production. Les résultats d'analyse de la qualité de la chaux de CCM- sa ont montré que le taux d'humidité observé est très faible (0,16 %) avec un fort pouvoir chaulant de 70,32 %. Les travaux d'incubation de la chaux éteinte pour neutraliser l'acidité des sols ont montré que la dose de 500 kg.ha-1 permet de corriger l'acidité des sols après un mois d'incubation.

Mots clé : sols, acidification, chaux agricole, Mali

I. INTRODUCTION

La production agricole au Mali est faible. Cette faiblesse de la production est due en partie à l'acidification des sols. Cette acidification est due aux mauvaises pratiques culturales, l'utilisation excessive d'engrais ammoniacaux acidifiants ou de la déforestation (Koulibaly, 2011, Guèdègbé et Doukkali, 2018). L'acidification des sols s'exprime par la baisse de leur pH et est la conséquence de l'abaissement progressif de leur capacité à neutraliser les acides (Whalen *et al.* 2000). Cette acidification se produit lorsque le pouvoir tampon du sol est faible. La minéralisation de la matière organique, la respiration des micro-organismes du sol et la sécrétion d'acides organiques par les racines des plantes contribuent aussi à l'acidification du sol. Elle se manifeste par la décalcification du complexe argilo-humique. Le calcium lessivé ou absorbé par les plantes, est remplacé progressivement par des ions H^+ , ce qui diminue le pH. Ainsi lorsque le sol devient acide, l'alimentation minérale des plantes est perturbée, le phosphore est bloqué et la vie du sol est fortement ralentie ainsi que les processus dont elle est responsable. Les pertes de Ca^{2+} ont également pour effet de diminuer la stabilité structurale du sol. Ainsi, pour corriger l'acidité des sols on a recours à l'épandage des amendements calco-magnésiens. Ces amendements réduisent la toxicité aluminique et du manganèse, augmentent l'assimilabilité du molybdène, et favorisent l'absorption du phosphore (Kaitibie *et al.* 2002).

C'est dans ce cadre que des essais d'incubations pour corriger l'acidité de différents types de sols cultivés

au Mali ont été effectués avec la Chaux de CCM-sa au Laboratoire Sol Eau Plante (LABOSEP) de Sotuba.

II. MATERIEL ET METHODES

Les prélèvements d'échantillons de sol ont été réalisés dans 4 zones de production agricole du Mali (OHVN, CMDT, SUKALA et Office du Niger), cf carte.

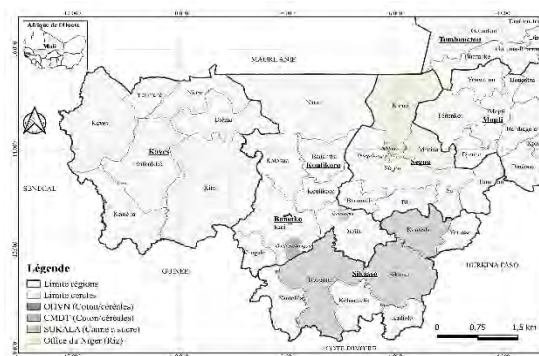
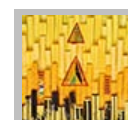


Figure 1 : zones de prélèvement des échantillons de sols

Les échantillons de sols de chaque point de prélèvement ont été séchés à la température ambiante avant d'être broyés et tamisés avec un tamis de 2 mm de diamètre pour analyse. Les analyses ont porté sur : la granulométrie, le pH (par la méthode potentiométrique dans une suspension de terre), le carbone organique (selon la méthode Anne modifiée), l'azote total (selon la méthode de Kjeldahl), le phosphore assimilable (selon Bray II), la capacité d'échange cationique et les bases



échangeables. La granulométrie des échantillons de sol a été faite par la destruction de la matière organique collant les particules les unes aux autres, par addition d'une solution dispersante de 25 ml de NaCl sur 20g de sol. Le volume est ensuite complété par l'eau distillée puis soumis à un agitateur mécanique pendant 1h 30 mn. La solution est ensuite filtrée par un tamis de 0,05 mm qui retient le sable dans des allonges (éprouvette) d'un litre. Le limon est ensuite prélevé à 15 cm de profondeur dans les allonges par une pipette de 25 ml. La séparation des particules est basée sur la différence de dépôt dans l'eau des particules de diamètres différents. L'argile est ensuite prélevée après sédimentation à une profondeur de 10 cm dans les allonges. Les échantillons sont ensuite séchés à l'étuve à 105 °C pendant 24 h avant de faire les pesées. Le triangle de texture a été utilisé pour la détermination de la classe texturale du sol.

En ce qui concerne la chaux agricole (Tableau 1), les analyses ont porté sur le taux d'humidité, la granulométrie, la détermination de l'effet chaulant, l'équivalent en CaCO_3 et de la dose optimale pour corriger l'acidité.

Tableau 1 : composition chimique de la chaux de CCM-sa

Composition %	Teneur
CaO	≥ 33
MgO	≥ 20
SiO ₂	≤ 1
Fe ₂ O ₃	≤ 0,2
Al ₂ O ₃	≤ 0,3

L'équivalent en CaCO_3 a pour but de déterminer le pourcentage en carbonate de calcium dans les retenues de chaque tamis d'ouverture de mailles différentes. Le principe consiste à ajouter de l'acide

chlorhydrique 0,5 M à de la chaux pour faire bouillir pendant 5 mn. Ensuite le mélange refroidi est titré avec une solution de NaOH à 0,25 M en présence d'indicateur. **L'équivalent en CaCO_3 est déterminé par la formule suivante:**

$$\text{CaCO}_3\% = 2,5 \times (\text{V1} - \text{V2}/2)$$

V1 : volume versé pour l'acide chlorhydrique (50ml)

V2 : volume versé pour la solution de NaOH

2,5 : coefficient de correction

Les incubations de sols avec de la chaux ont été effectuées au LABOSEP de Sotuba au Mali dans des pots de végétation contenant 01 kg de sol. Trente-neuf (39) échantillons de sol ont été incubés avec des doses différentes de chaux. Chaque échantillon de sol a été bien mélangé avec la dose de chaux correspondante, soit 0 mg de chaux pour la dose D0, 340 mg de chaux pour la dose D1 (500 kg/ha) et 680 mg pour la dose D2 (1000 kg/ha), dans les pots d'incubation. Au total 117 pots ont été incubés. Les échantillons de sol sont ensuite arrosés à la capacité au champ avec 200 à 300 ml d'eau en fonction des textures sableuses et argileuses. Après humectation à la capacité au champ, des échantillons ont été prélevés pour l'analyse du pH initial. Les travaux d'incubation ont été effectués pendant 30 jours avec un prélèvement de sol chaque 10 jour pour le suivi de l'évolution du pH des sols. L'analyse des données a été effectuée avec le logiciel Genstat 18th et la séparation des moyennes au seuil de 5 % avec le test de Newman et Keuls.

III. RESULTATS

Caractéristiques de la chaux

Les résultats d'analyse ont montré que le taux d'humidité observée de la chaux est très faible (0,16 %) malgré sa très forte hygroscopicité (Tableau 2).

Elle a un fort pouvoir chaulant de 70,32 %.

Tableau 2: Résultats des analyses physiques de la chaux agricole

Maille des Tamis	Finesse de mouture (A)	Facteur d'Efficiency (B)	Taux d'Efficiency C (AXB)/100	=	CaCO_3 Equivalent (CCE) =D	Efficiency CaCO_3 (ECC) (D*C)/100	=	Humidité
> 2 mm	5,18	20	1,04			0,73		
2 - 0,25 mm	19,98	60	11,98		70,32	8,42		0,16
< 0,25 mm	74,65	100	74,65			52,49		
Total ECC						61,64		

Caractéristiques des sols

Les caractéristiques physiques des sols sont variables en fonction des zones de production (Tableau 3). Ils sont en général de texture légère, très pauvres en argile. Ces sols sont de

texture limono-sableuse (LS) à Ouéllessébougou et Dougabougou, sablo-limoneuse (SL) à Sikasso, Fana et Macina, sableuse (S) à Sérivala, Koutiala, Bougouni et Niono.



Tableau 3 : moyennes des résultats d'analyses des caractéristiques physiques des sols étudiés

Zones	Sites	Nombre Echantillons	% Sable	% Limon	% Argile	Classe texturale
OHVN (Coton/céréales)	Ouélessébougou	5	46	50	4	LS
CMDT (Coton/céréales)	Koutiala	5	74	24	2	S
	Sikasso	5	68	29	3	SL
	Fana	5	70	28	2	SL
	Bougouni	5	78	20	2	S
SUKALA (canne à sucre)	Dougabougou	2	46	45	9	LS
	Séribala	3	74	20	6	S
Office du Niger (riz)	Macina	5	64	32	4	SL
	Niono	4	75	22	3	S

En ce qui concerne les caractéristiques chimiques ; dans la zone cotonnière OHVN, les sols sont moyennement acides avec une bonne teneur en matière organique et en phosphore assimilable (Tableau 4). En zone cotonnière CMDT, les sols sont également moyennement acides et très pauvres en matière organique et en azote. Les teneurs en phosphore assimilable sont très bonnes à Koutiala et Sikasso. La capacité d'échange (CEC) est faible, la teneur en potassium est faible, notamment à Bougouni et Fana.

Dans la zone SUKALA, les sols sont moyennement à faiblement acides et assez dotés en matière organique et très riches en phosphore. La capacité d'échange est moyenne avec des teneurs en potassium élevées. En zone ON, les sols sont moyennement acides avec une bonne teneur en matière organique et pauvres en azote. La capacité d'échange est faible avec des teneurs moyennes en potassium.

Tableau 4 : Caractéristiques chimiques des sols dans les zones de production agricoles du Mali

Paramètres	OHVN (Coton/céréales)	CMDT (Coton/céréales)	SUKALA (Canne à sucre)	ON (Riz / maraichage)
pH eau	5,8 ($\pm$ 0,50)	5,9 ($\pm$ 0,09)	5,9 ($\pm$ 0,10)	5,8 ($\pm$ 0,12)
	min = 5,76	Min = 5,83	Min = 5,84	Min = 5,65
	maxi = 5,89	Maxi = 6,12	Maxi = 6,08	Maxi = 5,95
Carbone (%)	0,77 ($\pm$ 0,19)	0,40 ($\pm$ 0,19)	0,82 ($\pm$ 0,17)	0,84 ($\pm$ 0,23)
	Min = 0,55	Min = 0,09	Min = 0,52	Min = 0,61
	Maxi = 1,05	Maxi = 0,77	Maxi = 0,96	Maxi = 1,25
Phosphore ppm	20,40 ($\pm$ 4,40)	20,23 ($\pm$ 15,82)	71,75 ($\pm$ 33,71)	32,53 ($\pm$ 21,21)
	Min = 15,33	Min = 1,28	Min = 31,79	Min = 3,58
	Maxi = 20,50	Maxi = 52,07	Maxi = 117,37	Maxi = 65,01
Azote (%)	0,03 ($\pm$ 0,01)	0,12 ($\pm$ 0,008)	0,02 ($\pm$ 0,005)	0,03 ($\pm$ 0,01)
	Min = 0,01	Min = 0,01	Min = 0,01	Min = ,01
	Maxi = 0,04	Maxi = 0,04	Maxi = 0,02	Maxi = 0,04
CEC meq / 100g	8,40 ($\pm$ 2,19)	5,55 ($\pm$ 3,35)	12,71 ($\pm$ 3,48)	6,85 ($\pm$ 1,99)
	Min = 5,88	Min = 2,98	Min = 6,57	Min = 3,93
	Maxi = 11,15	Maxi = 12,96	Maxi = 15,00	Maxi = 10,13
Calcium meq / 100g	4,51 ($\pm$ 1,46)	2,82 ($\pm$ 2,09)	7,37 ($\pm$ 2,30)	3,43 ($\pm$ 1,25)
	Min = 2,84	Min = 1,18	Min = 3,33	Min = 1,57
	Maxi = 6,37	Maxi = 7,55	Maxi = 8,82	Maxi = 5,49
Magnésium meq / 100g	2,24 ($\pm$ 0,72)	1,12 ($\pm$ 1,24)	3,68 ($\pm$ 1,15)	1,71 ($\pm$ 0,64)
	Min = 1,43	Min = 0,15	Min = 1,66	Min = 0,72
	Maxi = 3,18	Maxi = 3,77	Maxi = 4,40	Maxi = 2,74



Potassium meq / 100g	0,15 ($\pm$ 0,60) Min = 0,10 Maxi = 0,25	0,10 ($\pm$ 0,07) Min = 0,02 Maxi = 0,33	0,18 ($\pm$ 0,07) Min = 0,08 Maxi = 0,26	0,14 ($\pm$ 0,08) Min = 0,07 Maxi = 0,29
Sodium meq / 100g	0,10 ($\pm$ 0,00) Min = 0,01 Maxi = 0,01	0,013 ($\pm$ 0,004) Min = 0,01 Maxi = 0,02	0,10 ($\pm$ 0,06) Min = 0,01 Maxi = 0,16	0,07 ($\pm$ 0,06) Min = 0,01 Maxi = 0,16

Incubation des sols

Les résultats montrent que la dose de 500 kg/ha de chaux a permis de rehausser le niveau d'acidité des

sols de l'ensemble des sols incubés qui a passé de 5,8 à 8,5 en 30 Jours d'incubation (Fig2).

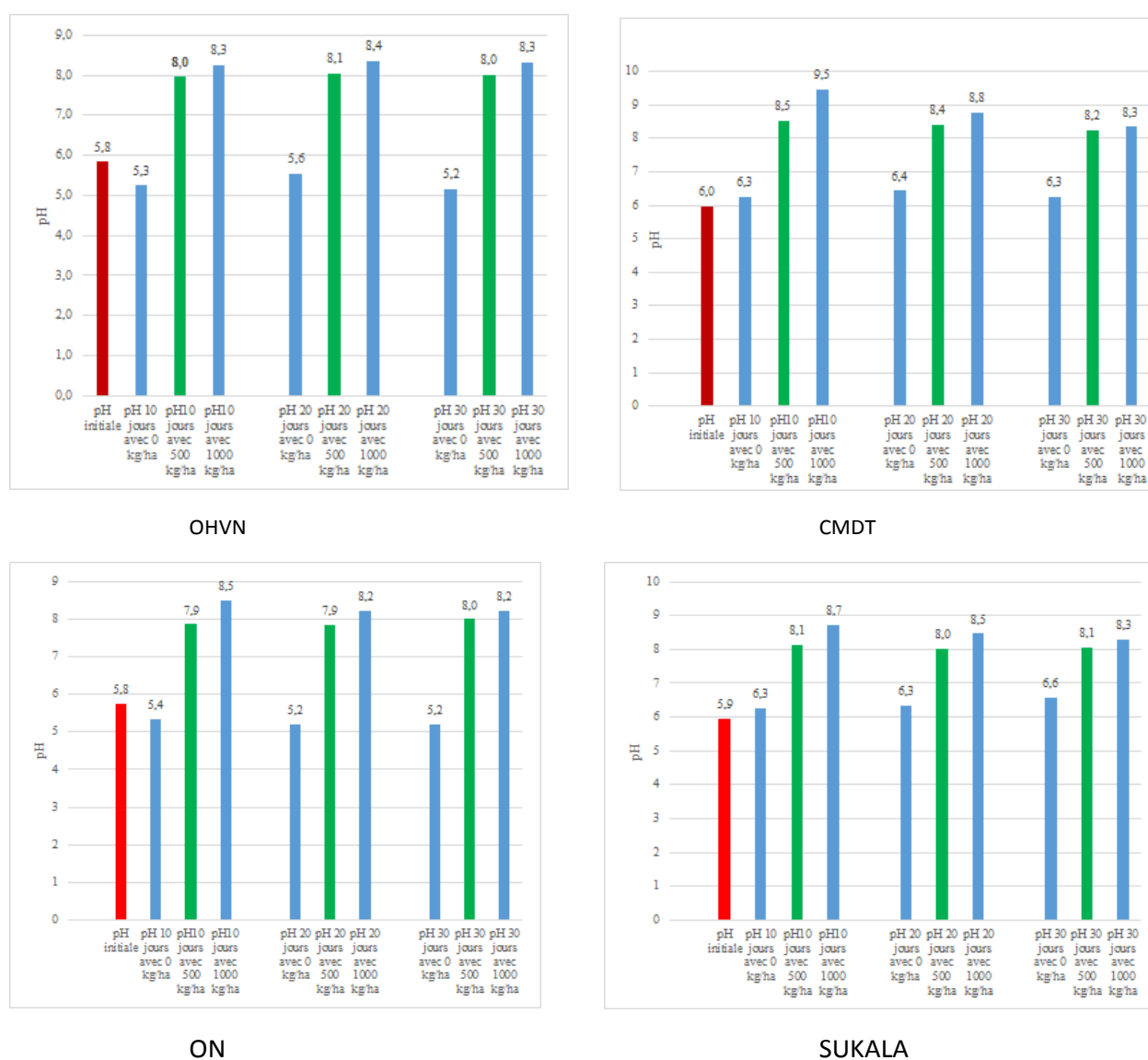
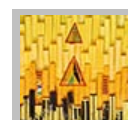


Figure 2 : effet de la chaux agricole sur l'acidité de différentes zones de production agricole du Mali



IV. DISCUSSION

La chaux testée a un fort pouvoir chaulant de 70,32 %. Les particules dont la taille est inférieure à 0,25 mm sont d'une efficacité idéale pour le chaulage avec une efficacité de chaulage de 100 % (Garman, 1963) or la taille des particules < 0,25 est supérieur à 74 %.

Les résultats de l'analyse chimique des sols ont montré, qu'il existe une grande diversité des caractéristiques des sols au Mali. Selon Keita (2005), ces sols correspondent à des sols ferrugineux tropicaux (peu lessivés et lessivés), des sols minéraux bruts, des sols peu évolués, des sols brunifiés et des sols hydromorphes caractérisés par une faible fertilité (Dembele et al., 2016) avec un pH variant entre 4 et 6,1 (Doumbia, Hossner, et Onken 1998; Shahandeh et al. 2004). Le Carbone, l'Azote, le Phosphore et le Potassium sont en dessous du seuil critique. Les sols sont acides (pH < 6,5).

Les résultats de l'incubation des différents types de sols ont montré que la dose de 500 kg.ha⁻¹ a permis de corriger l'acidité des sols au bout d'un mois d'incubation au laboratoire qui a passé de 5,8 à 8 en moyenne. Par contre Samake (2014) a montré qu'en milieu réel il faut 325 kg de chaux pour la correction de l'acidité des sols pour la culture du maïs. Selon Ngoy et al. (2017), l'application de la chaux permet l'amélioration du pH et la disponibilité du phosphore. Ciesielski et al. (2008) ajoutent que l'effet de l'addition de carbonate de calcium se traduit par la neutralisation des sites acides de la matière organique. La conséquence directe est une augmentation de la capacité d'échange cationique. D'autres facteurs peuvent jouer également sur l'évolution du pH entre autres, la nature des amendements, leur cinétique de réaction et les contraintes d'incorporation et d'homogénéisation (Koulibaly, 2011)

V. CONCLUSION

Les sols des zones de production agricoles sont de textures légères, très pauvres en argiles et très riches en sables. Les résultats d'analyse ont montré que le taux d'humidité observée de la chaux éteinte de la société CCM-Sa est très faible 0,16 % et a un fort pouvoir chaulant élevé de 70,32 %. La dose de 500 kg.ha⁻¹ a permis de corriger l'acidité des sols au bout de 30 jours d'incubation. Cependant, la finesse de mouture de la chaux CCM-Sa peut être améliorée pour une plus grande efficacité. Des tests sont en cours pour la détermination de la dose en milieu réel en fonction des différents systèmes de production agricole.

REMERCIEMENTS

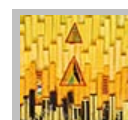
Cette étude a été réalisée grâce à l'appui financier de CCM-Sa et l'Appui Technique du Laboratoire Sol Eau Plante (LABOSEP) de l'IER de Sotuba et de l'Institut des Sciences Appliquées (ISA) de (USSTT-B).

DECLARATION D'INTERET

Les informations contenues dans cette communication scientifique peuvent être reproduites ou diffusées à des fins éducatives et non commerciales sans autorisation préalable du détenteur des droits d'auteur à condition que la source d'information soit clairement indiquée.

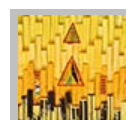
REFERENCES

- Samake .A. 2014. « Use of Locally Available Amendments to Improve Acid Soil Properties and Maize Yield in the Savanna Zone of Mali ».
- Ciesielski, H., T. Sterckeman, J. Y. Baliteau, G. Caria, V. Goutiers, et J. P. Willery. 2008. « Evolution du pH et de la CEC de sols du Nord de la France en fonction des doses de chaulage (CaCO₃) ». *Influence du carbone organique. Etude et gestion des sols* 15 (53): 161–170.
- Dembele, Djeneba, Kalifa Traore, Charles Quansh, et Edward Mathew Osei Jnr. 2016 « Optimizing Soil Fertility Management Decision in Mali by Remote Sensing and GIS », 14. *Donnish Journal of Agricultural Research* Vol 3(4) pp. 022-034
- Doumbia, M. D., L. R. Hossner, et A. B. Onken. 1998. « Sorghum growth in acid soils of West Africa: Variations in soil chemical properties ». *Arid Soil Research and Rehabilitation* 12 (2): 179- 90. [https:// doi.org/10.1080/15324989809381507](https://doi.org/10.1080/15324989809381507).
- Garman, WH (1963). *The fertilizer handbook*: 75-118.
- Guèdègbé, Tharcisse, et Mohammed Rachid Doukkali. 2018. « La Neutralité en Termes de Dégradation des Terres en Afrique est-elle envisageable ?/ Is Land Degradation Neutrality in Africa Possible? » *Africa Portal.OCP.Policy Centre*. 9 pages
- Koulibaly. B. 2011. « Caractérisation de l'acidification des sols et gestion de la fertilité des agrosystèmes cotonniers au Burkina », thèse de Doctorat de l'université d'Ouagadougou. 183 pages.
- Keita Bassirou. 2005. « les sols dominants du Mali ». [http:// www. fao.org/ docrep/ 005/ y3948f/y3948f08.htm](http://www.fao.org/docrep/005/y3948f/y3948f08.htm). Consulté le 21 janvier 2019. [http:// www.fao.org/ docrep/005/y3948f/y3948f08.htm](http://www.fao.org/docrep/005/y3948f/y3948f08.htm).
- Kaitibie S., Epplin F. M., Krenzer E.A., Zhang H., 2002. Economics of lime and phosphorus application for dual-purpose winter wheat production in low-pH soils. *Soil Sci. Am. J.* (94) : 1145-1145.
- Shahandeh, H., F. M. Hons, L. R. Hossner, et M. D. Doumbia. 2004. « Effect of Diamou Lime, Gypsum, and Tilemsi Phosphate Rock on Acid Soils of the



Sudano-Sahelian Region of Mali ». *Arid Land Research and Management* 18 (1): 77- 88.
<https://doi.org/10.1080/153249804490245031>.

Whalen J.K., Chang C., Carefoot J.P., 2000. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64, pp. 962-966.



Les pertes de matières sous forme dissoutes dans le bassin versant de Korola en zone soudanienne du Mali

Habibatou Sangare

Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou, Mali

RESUME : Le bassin versant de Korola comme dans le reste de la zone soudanienne du Mali est confronté aux problèmes de ruissellement et d'érosion avec comme conséquence la dégradation physique, chimique et biologique des sols se traduisant par l'épuisement des éléments fertilisants des sols. Ce travail a pour objectif la détermination des pertes d'éléments chimiques dans les eaux de ruissellement et dans les matières en suspension, et des nutriments des sols cultivés dans le bassin versant de la Bagoé. Il a porté sur l'analyse au laboratoire de 42 échantillons d'eau de ruissellement et 42 échantillons de matières en suspension prélevés au niveau des dispositifs de récupération des eaux de ruissellement et des sédiments installés à l'aval de 7 parcelles expérimentales avec des dispositifs antiérosifs (cordons pierreux et bandes enherbées) afin de déterminer les pertes d'éléments chimiques par le ruissellement et l'érosion pour les différentes parcelles. Les résultats d'analyse des échantillons récoltés au cours de deux campagnes expérimentales 2014 et 2015 ont montré qu'il n'y a aucune différence significative entre les 7 traitements en ce qui concerne les pertes en calcium, en magnésium et en azote. Par contre, des différences hautement significatives ont été notées en comparant les pertes de potassium et de phosphore. En 2014, les plus fortes pertes de potassium $27,12 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ sont enregistrées sur T1 et les plus faibles $8,64 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ont été enregistrées sur T4, les plus fortes pertes de phosphore ($0,140 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) sont notées sur T1 et T3 et les plus faibles ($0,002 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) sur T6.

Mots clés : matières dissoutes, bassin versant de Korola, matières en suspensions, zone soudanienne.

I. INTRODUCTION

L'érosion des sols est sélective vis-à-vis des nutriments et des colloïdes qui font l'essentiel de la fertilité des sols. Les plus importants sont le carbone, l'azote, le phosphore, l'argile et les limons jusqu'à 50 microns [13]. Les pertes en ces différents nutriments des sols mis en culture sont suivies sur des parcelles d'érosion aux dimensions normalisées (Wischmeier et Smith [16]).

En zone soudanienne du Mali, les pertes en terre et en bases ont été mesurées sur parcelle de type Wischemeir en même temps que le ruissellement en fonction des types de sol (sol ferrugineux tropical, sol brun vertique et sol gravillonnaire), de leur occupation et des pratiques culturales (jachère, culture avec labour conventionnel, culture avec travail minimum du sol [5, 3]. Les flux de matières particulières et dissoutes ont été mesurés à l'exutoire de petits bassins versants et la dégradation spécifique de ces bassins a été calculée par plusieurs auteurs [10, 11, 12, 6, 7]. Le potentiel d'érosion et de transport des matières érodées à l'échelle petit bassin versant a été modélisé [5]. Il faut noter que le protocole expérimental de mesure de ruissellement et de l'érosion sous pluie naturelles, sur parcelle de 50 m^2 a été largement décrit, en particulier par des chercheurs [14, 1]. De façon classique, le dispositif expérimental mis en œuvre pour évaluer les pertes d'éléments chimiques est le bassin versant expérimental où sont mesurés à l'exutoire : le débit liquide, les transports solides et les matières dissoutes [6]. Ce dispositif est efficace mais difficile

à mettre en place et très coûteux. Il nécessite la présence d'opérateurs à chaque crue ou de disposer d'appareils à prélèvements et de capteurs automatiques fiables.

De façon générale, au plan international et au Mali en particulier, il existe actuellement peu de données sur les pertes d'éléments (carbone organique et nutriments) par érosion hydrique sur parcelles expérimentales [15].

L'étude expérimentale de l'érosion au champ menée dans cet article est une méthode reconnue aussi coûteuse, non seulement à la mise en place, mais aussi à l'entretien et au suivi.

Malgré, ces critiques sévère [8] estime que les parcelles d'érosion sont utiles pour la démonstration à l'attention des agriculteurs, de la gravité de l'érosion ou la comparaison par exemple, d'une parcelle bien protégée par le couvert végétal et d'une parcelle nue;

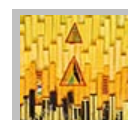
Les dispositifs de récupération des eaux de ruissellement et des sédiments utilisés dans cet article sont de très bons pièges à sédiments malgré quelques inconvénients (les erreurs de lecture sur une règle graduée d'un mètre, les erreurs dues aux partiteurs, l'irrégularité dans la forme des cuves).

Cependant certains auteurs [9, 13] estiment que la précision peut être donnée à 10% près.

II. MATERIELS ET METHODES

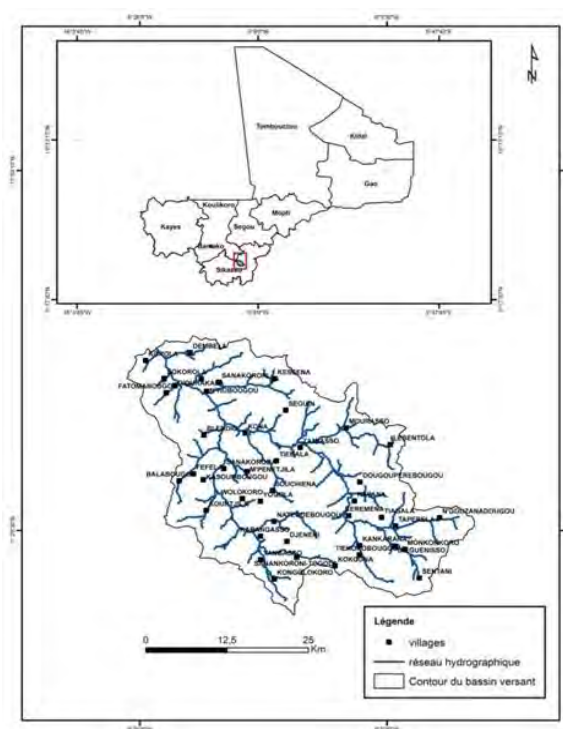
2.1. Site de l'étude : le bassin versant de Korola

Le bassin versant de Korola (figure 1) est un sous bassin versant de la Bagoé, plus précisément du



moyen Bagoé. Les coordonnées à l'exutoire sont 6°39'W et 11°71' N. Il couvre une superficie de 1245,3 km² dans le cercle de Sikasso en zone soudanienne du Mali. Sur le plan administratif, le bassin versant de Korola est réparti entre les Sous-préfectures de Kourala partie amont de Niéna et de Blendio partie aval. Ce bassin versant, comme la majeure partie du bassin de la Bagoé est soumis à un climat soudanien caractérisé par une saison de pluies de mai à octobre et une saison sèche de novembre à avril. Les valeurs moyennes de la pluviométrie annuelle (période 1980-2016) sont enregistrées à la station météorologique de Sikasso (station climatique de référence pour le site d'étude). La plus faible quantité annuelle de pluie 754,7 mm a été enregistrée en 1983 et la plus forte 1552,8 mm en 2016. Cela dénote que la saison pluvieuse est caractérisée par de grandes variabilités spatiales et des irrégularités considérables des quantités (annuelles, mensuelles et journalières) de pluie et de leur fréquence.

Le bassin versant de Korola est occupé par 43 villages et hameaux de culture, avec une population estimée à 42 700 habitants d'après les données collectées auprès des mairies des différentes communes dans les programmes de Développement Social, Economique et Culturel (PDSEC).



Source: (extraite de la carte topographique (feuille de Kolondiba) de l'Institut Géographique du Mali.)
Figure 1: Localisation du bassin versant de Korola

2.2. Méthodologie

2.2.1. Description des dispositifs de récupération des eaux de ruissellement et des sédiments et prélèvements d'échantillons.

L'expérimentation au champ sur parcelles expérimentales a été conduite dans le terroir de Blendio situé dans la partie aval du bassin versant mais loin de l'exutoire qui est à Korola (12°16' N, 2°9' W, 300 m altitude). Le sol est de type ferrugineux tropical lessivé à pseudogley localisé sur glacié d'épandage avec une profondeur de plus de 100 cm, de texture limoneuse en surface et argilo-limoneuse à argileuse en profondeur.

Le dispositif en blocs dispersés comprenant trois blocs avec trois répétitions (répétition = champs) et 7 traitements qui combinent deux pratiques de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux, bandes enherbées) avec des amendements minéraux a été installé chez trois paysans volontaires.

Chaque bloc a été découpé en sept (7) parcelles élémentaires correspondant aux différents traitements (traitement 0 à traitement 6).

Les caractéristiques des traitements:

Six traitements sont comparés au témoin T0.

Les caractéristiques des traitements sont résumées comme suit

T0: parcelle cultivée en coton sans dispositif antiérosif, épandage de 150 kg.ha⁻¹ de complexe coton + 50 kg.ha⁻¹ d'urée à la volée ;

T1: cordons pierreux + 150 kg.ha⁻¹ de complexe coton + 50 kg.ha⁻¹ d'urée épandu à la volée;

T2: cordon pierreux + 150 kg.ha⁻¹ de complexe coton + 50 kg.ha⁻¹ d'urée épandu en microdose 36 g/poquet;

T3: cordons pierreux + 200 kg.ha⁻¹ de complexe coton + 50 kg.ha⁻¹ d'urée épandu en microdose 48 g/poquet;

T4 : bande enherbée (andropogon gayanus) + 150 kg.ha⁻¹ de complexe coton + 50 kg.ha⁻¹ d'urée épandu à la volée;

T5 : bande enherbée+ 150 kg.ha⁻¹ de complexe coton + 50 kg.ha⁻¹ d'urée épandu en microdose 36;

T6 : bande enherbée+ 200 kg.ha⁻¹ de complexe coton + 50 kg.ha⁻¹ d'urée épandu en microdose 48 g/poquet;

Ces différents traitements sont répétés pour le maïs en 2015 mais le complexe céréale remplace le complexe coton

La superficie de chaque parcelle élémentaire est de 200 m² (50 x 4) et celle d'un bloc est de 1400 m² (50mx28m).

Toutes les parcelles sont placées côte à côte et chacune d'elle est séparée par des diguettes en terre de 0,4 m de haut, 50 m de long et 0,4 m de large.

Chaque parcelle élémentaire est disposée de façon que sa longueur soit dans le sens de la plus grande pente du terrain pour faciliter la récupération et la quantification des eaux de ruissellement et des sédiments.



Chaque parcelle est isolée de l'extérieur par une diguette en terre de 50 cm de haut pour éviter la pénétration des eaux de ruissellement venant de l'extérieur. En vue de récupérer les eaux de ruissellement et les sédiments arrachés sur les parcelles après chaque événement pluvieux, un système récepteur est construit à l'aval de chaque parcelle expérimentale. Ce système est composé de trois cuves bétonnées avec des dimensions variables, mais des profondeurs constantes.

Sur les différents traitements, les cordons pierreux et les bandes enherbées ont été installés sur les courbes de niveau aux écartements de 33 m, soit trois barrières par parcelle. Chaque bande enherbée comprend trois lignes intercalées de plants d'*Andropogon gayanus* permettant d'obtenir une barrière dense de 0,3 m de large. La variété de coton cultivée est la STAM 59 A et la variété de maïs cultivée est le Dembagnuman.

2.2.2 Méthodes de mesure des eaux de ruissellement et de perte en terre sur parcelles expérimentales

L'étude a été menée à travers les campagnes de mesures pendant les saisons de pluies 2014 et 2015. Après chaque pluie donnant lieu à un ruissellement, l'échantillonnage d'eau est fait par parcelle à partir d'un prélèvement de 10 litres d'eau dans la cuve de partition de 2 m³. Ce prélèvement est réalisé après malaxage de l'eau contenue dans cette cuve et une solution de sulfate d'aluminium à 5% (1cc/1 litre) est ajoutée afin de favoriser la floculation des matières en suspension pendant 24 heures.

Après floculation et enlèvement du surnageant (eau claire), la totalité des matières en suspension contenues dans les 10 L est entièrement récupérée et stockée dans des boîtes étiquetées et transportée au laboratoire, à l'état humide pour séchage à l'étuve, puis pesée. Le plus souvent, les quantités sont si faibles qu'on garde la totalité des suspensions pour les analyses de laboratoire. Le résultat obtenu au laboratoire va nous permettre de connaître la quantité de terre érodée sous forme de matières en suspension (MES).

Sur le surnageant (eau claire) une prise d'échantillon (200-400cc) est faite dans des boîtes en plastique d'environ 230 ml et fermées hermétiquement. Ces boîtes sont étiquetées où on marque le numéro du bloc de traitement, le numéro de la cuve et la date de la pluie en vue de caractériser les matières dissoutes au laboratoire.

2.2.3 Méthodes d'analyse chimique des eaux de ruissellement et des sédiments au laboratoire

Des échantillons moyens ou échantillons composites ont été formés par parcelle. Au total 42 échantillons d'eau et 42 échantillons de matières en suspension ont été analysés au laboratoire. De tels échantillons permettent de connaître la perte globale d'éléments perdus au cours de la période expérimentale. Il s'agit

d'une information très importante. Les échantillons d'eau ont été analysés au laboratoire de chimie analytique de l'Institut des Sciences Appliquées (ISA) à la Faculté des Sciences et des Techniques (FST) à Bamako.

Les analyses ont porté sur le magnésium, le calcium, le potassium, l'azote et les phosphates (Ca, Mg, K, P, N) sur les eaux de ruissellement et le pH eau, Mo, N, P, K, C sur les sédiments (matière en suspension). Les cations ont été analysés avec le spectromètre d'adsorption atomique PerkinElmer A Analyste200. Les bases échangeables ont été mesurées avec la méthode à l'acétate d'ammonium. Les échantillons de matières en suspension ont été analysés au laboratoire HEINZIMHOF de l'IPR/IFRA de Katibougou. Les teneurs des sédiments en carbone total ont été dosés selon la méthode Anneet l'azote selon la méthode Kjeldhal. Le taux de matière organique (Mo) a été calculé à partir de la teneur de l'échantillon en carbone: $MO\% = \% C \times 1,724$. Les teneurs en phosphore assimilable ont été déterminées suivant la méthode Bray et celles en potassium assimilable par la méthode de l'acétate d'ammonium. Ces méthodes classiques qui ne sont pas présentées ici ont été décrites par [2]. Les analyses des différents échantillons au laboratoire doivent nous permettre de connaître la teneur des eaux de ruissellement et des sédiments en éléments chimiques comme l'Azote total (N), le phosphore assimilable, le carbone organique, la matière organique et les bases échangeables tels que le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^+), le potassium (K^+).

Connaissant les teneurs de ces éléments dans les volumes d'eau ruisselée et dans les matières en suspension (MES), nous pouvons déterminer pour les différentes parcelles au niveau de chaque champ paysan:

- Les pertes en éléments chimiques sous forme dissoute dans les eaux de ruissellement en g.l⁻¹.an⁻¹
- Les pertes en terre sous forme de matières en suspension (MES) en t.ha⁻¹.an⁻¹

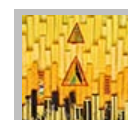
III. TRAITEMENT DES DONNEES

Les données récoltées durant les deux campagnes agricoles 2013-2014 et 2014-2015 concernant les teneurs des eaux et des sédiments en éléments chimiques et les pertes de ces éléments sont analysés à l'aide du logiciel statistique GENSTAT version 12.0.

Le test de Duncan est choisi pour la comparaison des moyennes lorsque l'analyse de la variance révèle des différences significatives entre les traitements au seuil de probabilité de 5%.

IV. RESULTATS

4.1 Pertes d'éléments chimiques sous forme soluble par les eaux de ruissellement dans le bassin versant de Korola en kg.ha⁻¹



Il ressort de l'analyse statistique que les pertes en calcium (Ca) sont les mêmes quelque soit le traitement et l'année il en est de même pour les pertes en azote (N). Autrement dit, il n'existe pas de différence significative entre les 6 traitements testés et entre les quantités mesurées en 2014 et 2015.

Les pertes en magnésium (Mg) par ruissellement ne montrent pas de différence significative entre les traitements en 2014. Par contre, en 2015, les pertes sont plus importantes avec T5 qu'avec les 6 autres traitements qui ne montrent pas de différence significative.

- les plus fortes pertes de potassium $27,12 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ sont enregistrées sur T1 et les plus faibles $10,24 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ sur T4.

- Les plus fortes pertes en phosphore ($0,27 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) sont notées sur T1 et les plus faibles ($0,0038 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) sur T6.

- les plus fortes pertes en magnésium ($0,395 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) sont enregistrées sur T5 et les plus faibles ($0,009 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) sur T4.

La perte en N sur l'ensemble des parcelles est en général faible, variant entre $0,100 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ et $0,1650 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. De même, cette tendance est observée pour le P, le Ca et Mg.

Les plus fortes pertes en K ($27,12 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) sont enregistrées sur T1 et les plus faibles ($10,27 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) sur T4.

Pertes d'éléments chimiques par transport dans les matières en suspension dans le bassin versant de Korola en $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$

L'analyse statistique révèle que tous les traitements ont des pH (H_2O) variant entre 6,450 et 6,990. On peut conclure que l'environnement a été neutre. Les valeurs moyennes des pertes en matière organique est plus élevées (1,350 à 2,400%) au niveau de tous les traitements. Les pertes en azote est faible $< 1\%$ dans tous les traitements quel que soit l'année. Les plus fortes pertes en phosphore $2,205 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ sont enregistrées sur T1 et les plus faibles sur T0 en 2014. Par contre en 2015, les plus fortes pertes sont enregistrées sur T1 et les faibles $0,740 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ sur T0. Les plus fortes pertes en potassium $7,70 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ sont enregistrées sur T5 et les plus faibles $1,225 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ sur T6 en 2014. Cependant en 2015, les plus fortes $7,62 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ sur T4 et les plus faibles $6,01 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ sur T0 et T1.

V. CONCLUSION

Cette étude des eaux de ruissellement et des matières en suspension dans un bassin versant de $1245,3 \text{ km}^2$ a permis:

- la quantification des pertes en éléments chimiques dans les échantillons d'eau de ruissellement et dans les matières en suspension en milieu réel.

Les résultats montrent que les pertes en azote sont très faibles dans les eaux de ruissellement et des matières en suspension.

Le carbone est principalement entraîné avec les fractions granulométriques du sol.

Contrairement au carbone et à l'azote, les pertes en potassium se font essentiellement par les eaux de ruissellement et celles du phosphore dans les matières en suspension. Cela peut être particulièrement préjudiciable à la durabilité des systèmes agricoles dans la mesure où le ruissellement et l'érosion sont très importants dans le milieu soudanien.

Pour cela, les pratiques conservatoires de l'eau et de la fertilité des sols doivent être convenablement appliquées à l'échelle du champ paysan, du terroir villageois et du bassin versant. Les bandes enherbées sont envisageables pour améliorer la gestion des eaux et réduire les pertes en terres à l'échelle du champ paysan comme en témoigne le comportement de T4 dans l'expérimentation

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] ALBERGEL J., P. PEREZ et M. VAKSMAN (1991). Amélioration des modèles de bilan hydrique sur parcelle par la prise en considération des états de surface. *Soil water balance in the Sahel-Sahelian Zone* (Proceed of the Niamey Workshop, Niger). Febr. 1991. IHAS Pub. (199): 483-495.

[2] Baize D. (2000). Guide des analyses en pédologie, 2ème édition. INRA, Paris, 257p.

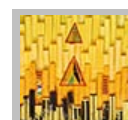
[3] Diallo D, Orange D., Roose E (2004b). Influence des pratiques culturales et du type de sol

Sur les stocks et pertes de carbone par érosion en zone soudanienne du Mali. Bull.22 du Réseau Erosion

[4] Diallo D., Barthès B., Orange D., Roose E. (2004a). Comparaison entre stabilité des agrégats ou des mottes et risque de ruissellement et d'érosion en nappe mesures sur parcelle en zone soudanienne du Mali. Sécheresse, 15, 1, 57-64.

[5] Diallo D. (2000). Erosion des sols en zone soudanienne du Mali. Transfert des matériaux érodés dans le bassin versant de Djitiko (Haut Niger). Thèse De Doctorat de l'Université Joseph Fourier de Grenoble : 202 p.

[6] Droux J.-R., Mietton M., Olivry J.-O. (2000). Mesures de l'érosion hydrique mécanique et chimique sur un petit bassin-versant gréseux en zone tropicale soudanienne: le cas du Dounfing (Mali), Bull. du Réseau Erosion, n°20, pp.68-77.



[7] Droux J.P. (1999). Hydrologie et flux de Matières solides particulaires et dissoutes sur petits bassins versants du bassin du fleuve Niger au Mali (bassins versants du Dounfing, de Djitiko et de

Bélékoni). Thèse de Doctorat de l'Université Louis Pasteur-Strasbourg1 :304 p.

[8] HUDSON N. W. (1996). Mesures de terrain de l'érosion et de l'écoulement des eaux de surface. Bulletin pédologique de la FAO : 153 p.

[9] Mietton M. (1986). Méthodes et efficacité de la lutte contre l'érosion hydrique au Burkina Faso. Cah. ORSTOM Pédol., 22,2 :181-196. Morel (1989) .Les sols cultivés. Lavoisier, Paris : 373 p.

[10] Olivry, J. C., Bricquet, J. P., Mahe, G., Bamba, F., Diarra, M., Mathieux, A., Des Tureaux, T., Orange, D., Picouet, C., (1997). Erosion et transport particulaire par le Niger: du bassin supérieur à l'exutoire du delta intérieur (bilan de cinq années d'observation). FRIEND'97 — RegionalHydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resource Management. (Proceedings of the Postojna, Slovenia, Conference, September-October (1997). IAHS Publ. no. 246, 1997. J-3-5.

[11] Olivry J.C., Gourcy L., Touré M. (1995 b). premiers résultats sur la mesure des flux de matières dissoutes et particulaires dans les apports du Niger au Sahel. In Jean-claude Olivry et Jacques Boulègue. Grands bassins fluviaux périatlantique : Congo, Niger, Amazone. Actes du colloque PEGI, INSU-

CNRS-ORSTOM, Paris, France, du 22 au 24 novembre : 147-158.

[12] Olivry J. C., Gourcy L., Toure M.(1995a)– Premiersrésultatssurlamesuredesfluxde matières dissoutes et particulaires dans les apports du Niger au Sahel.In "Grands bassins fluviaux périatlantiques:Congo,Niger,Amazone."Actesducolloque PEGI,CNRS-INSU-ORSTOM, 22-24 nov. 1993, Coll. Colloques et Séminaires, ORSTOM, Paris,281-292. Parker R. S.

[13] ROOSE E., PIO J. (1984). Runoff, erosion and soil fertility restauration in the Mossi Plateau

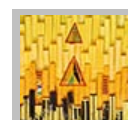
Proceeding of Harare Symposium, AISH publication no 144: 485-498.

[14] ROOSE E. (1981). Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivées. Thèse de doctorat es. Sc. de l'Université d'Orléans, Travaux et Documents de l'ORSTOM, Paris: 567p.

[15] STARR G.c., LAL R., MALONE R., HOTHEM D., OWENS L. KIMBLE I. (2000).

Modeling soil carbon transported by water erosion process. Land Degrad. Devellop. II:83-91 p.

[16] Wischemeier W.H. et Smith D.D. (1978).Predicting rainfall erosion losses. Aguide to conservation Planning USDA.



Variabilité spatio-temporelle de l'évapotranspiration potentielle dans le bassin du Bani de 2002 à 2017

Mamoutou SAMAKE¹ et Fatogoma BAMBA²

¹Université de Ségou, Faculté d'Agronomie et de Médecine Animale

²Ecole Nationale d'ingénieurs d'Abderrahmane Baba TOURE

Corresponding author's email address: mamoutou.samak@yahoo.fr

RESUME : L'évapotranspiration potentielle (ETP) est l'un des processus naturels les plus importants du fait de son lien avec l'ensemble des systèmes bioclimatiques et physiques. C'est un phénomène sensible au moindre changement d'état des systèmes qui lui sont liés (sol, eau, plante etc.). Ainsi, l'étude de la variabilité spatio-temporelle de l'évapotranspiration potentielle (ETP) sur le bassin versant du Bani entre la période 2002 et 2017 a permis de mettre en évidence des modifications conséquentes dans la dynamique de l'évolution à partir l'année 2012. A partir de cette même année, ETP, calculée selon la formule FAO-Penman-Monteith, a connu une augmentation drastique au niveau de toutes nos cinq stations météorologiques : dont quatre à l'intérieur du bassin du Bani et une station témoin à l'extérieur. Cette augmentation drastique est accompagnée d'une irrégularité de la dynamique intra-annuelle, si on la compare à la période antérieure à l'année 2012. Enfin, l'analyse de la variabilité spatiale a permis également d'établir une classification des régions qui composent le bassin versant du Bani. Il est intéressant de noter que les modifications survenues ont été constatées à la même période sur l'ensemble du bassin. Ce changement global d'ETP dans le temps et dans l'espace pourrait être attribuée à la variabilité climatique. En effet la variabilité climatique, étant connue pour son influence généralisée, peut bien être la cause du changement d'ETP observés sur le bassin versant du Bani.

Mots-clés : évapotranspiration potentielle, variabilité spatio-temporelle, bassin du Bani, formule FAO-Penman-Monteith, variabilité climatique.

I. INTRODUCTION

La variabilité climatique est sans doute la plus grande manifestation naturelle porteuse d'enjeux et de défis pour notre époque. Cela tient du fait qu'elle affecte le mécanisme et le dynamisme des systèmes naturels de façon individuelle et collective (DFC, 2014). Les conséquences sur les êtres vivants sont immédiates avec en générale des répercussions néfastes sur tous les aspects de nos vies. Il existe un phénomène que l'on rencontre au cœur du système bio-physico-climatique que l'on appelle : l'évapotranspiration (Mjeira, 2015).

L'évapotranspiration est un phénomène naturel qui doit sa complexité à l'importance du rôle qu'elle joue notamment dans le cycle hydrologique de l'eau et dans la respiration végétale. (Lecarpentier, 1975). En effet, aussi importante que les précipitations, elle est considérée comme une précipitation à sens inversé. Par ailleurs, la gestion optimale de l'eau en agriculture se base essentiellement de l'application pratique de l'évapotranspiration. Autre intérêt de l'évapotranspiration est son usage en tant qu'indicateur climatique, du fait surtout de sa sensibilité au moindre modification des éléments naturels. (Thornthwaite, 1948).

L'un des défis de la variabilité climatique est la nécessité de réviser et d'actualiser nos connaissances sur les systèmes naturels. Des études

ont été consacrées à la compréhension de l'interaction entre la variabilité climatique et les processus hydrologiques dans le bassin du Bani (Bamaba et al., 1996). Le présent travail s'insère dans le même contexte, mais en abordant le processus de l'évapotranspiration (ET), plus précisément de l'évapotranspiration potentielle (ETP).

Dans ce travail, nous nous proposons d'analyser l'évolution de l'évapotranspiration potentielle (ETP) dans le temps, entre 2002 et 2017, et dans l'espace, sur le bassin du Bani.

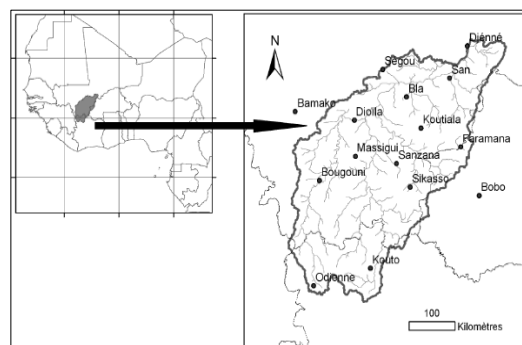
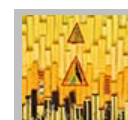


Figure 1. Localisation du bassin versant du Bani (Mali). (Source : Rodier et al, 2010)



II. METHODOLOGIE

Pour permettre l'analyse de la variabilité de l'ETP dans le bassin versant du Bani, nous avons procédé par :

- La collecte de données de l'ETP dans quatre stations à l'intérieur du bassin versant du Bani ;
- Et le traitement statistique des données avec le tableur MS-Excel.

2.1 La collecte de données

Les données sur l'ETP ont été collectées auprès de l'Agence Nationale de la Météorologie (Mali-Météo). La gestion des stations météorologiques, confiée à l'ASECNA, assure à ces données collectées la validité scientifique conformément aux normes internationales.

Nos données d'ETP proviennent de quatre stations météorologiques à l'intérieur du bassin du Bani et une station témoin à l'extérieur du bassin du Bani, sur une période de 15 ans, de 2002 à 2017.

Il faut noter que Mali-Météo ne dispose pas d'instrument de mesure d'ETP. Les valeurs d'ETP sont calculées à partir des données météorologiques (la température, le vent, l'humidité relative, etc.) à l'aide de la formule FAO-Penman-Monteith. Cette formule s'écrit comme suit (Allen, 1998).

$$ET_0 = \frac{R_n \cdot \Delta + \frac{\rho \cdot c_p \cdot \delta e}{r_a}}{\lambda \left[\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a} \right) \right]}$$

ETP : évapotranspiration potentielle (mm) / R_n : rayonnement net (W/m^2) / γ : constante psychrométrique (kPa/C°)

ρ : densité de l'air à pression constante (kg/m^3) / C_p : capacité thermique de l'air humide ($J/kg/C^\circ$)

r_a : résistance aérodynamique (s/m) (descripteur météorologique traduisant le rôle des turbulences atmosphériques dans le processus d'évaporation) ;

r_s : résistance de surface (s/m)

λ : chaleur latente de vaporisation de l'eau (J/kg)

δe : différence entre la pression de vapeur saturante (e_s (kPa)) et la pression de vapeur effective dans l'air (e_a (kPa)).

2.2 Traitement et analyse statistiques avec MS Excel

Le traitement des données a consisté en la réorganisation du format de présentation des données pour l'adapter à une analyse continue sur toute la période d'étude.

Les données ainsi réorganisées ont été projetées sur un graphique pour faciliter la visualisation de l'évolution de l'ETP.

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Resultats

Les résultats qui sont présentés ci-après proviennent des données d'ETP calculées à partir de la formule FAO-Penman-Monteith.

L'analyse de nos données nous a permis de :

- Déceler un point rupture de la tendance, à partir de laquelle on observe une nouvelle tendance dans l'évolution de l'ETP ;
- Mettre en évidence une irrégularité intra-annuelle à partir du point de rupture ;
- Démontrer la variabilité spatiale à l'intérieur du Bassin du Bani.

3.1.1 Le point de rupture de la tendance moyenne à partir l'année 2012

La dynamique de l'évolution de l'ETP du bassin du Bani est identique au niveau des quatre stations (figure 2). Cette dynamique générale sur le bassin versant a résulté d'une tendance moyenne stable jusqu'à la 396^{ème} décade, c'est-à-dire en l'an 2012. A partir de cette année, le flux d'ETP a connu une intensification brusque, marquant une rupture de tendance avec une valeur minimale (2013 à 2017) de 39,23 mm/j en 2016 contre 9,86 mm/j en 2010 (et avec une moyenne 2002 à 2012 de 33,32 mm/jour) (figures 3a et 3b).

3.1.2 L'irrégularité intra-annuelle à partir du point de rupture

A partir du point de rupture à la 396^{ème} décade, une nouvelle tendance (à répétition cyclique) commence à s'établir et à se stabiliser (figure 2). Toutefois, on observe que la transition d'une année à l'autre ne suit plus un ordre précis, se traduisant par une irrégularité intra-annuelle.

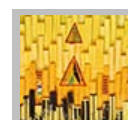
3.1.3 La variabilité spatiale de l'ETP

Les stations météorologiques portent le nom des régions qu'elles couvrent. Sur la base de cette nomenclature, nous avons classé ces régions, ou la portion de ces régions faisant partie du bassin du Bani, selon leur moyenne d'ETP sur toute la période d'étude (2002-2017) (figure 4).

Il ressort que la région de Mopti est la région qui contribue le plus au flux d'ETP du bassin du Bani avec une moyenne interannuelle supérieure à la moyenne générale du bassin soit une moyenne de 42,42 mm/j contre 32,3 mm/j alors que celle de Bougouni présente la plus basse moyenne avec 21,41 mm/j.

3.2 Discussion

Les variabilités spatiale et temporelle de l'évapotranspiration potentielle (ETP), constatées sur toute l'étendue du bassin versant du Bani à travers les quatre stations à l'intérieur, sont significatives. La station témoin de Bamako-Senou, dont les variabilités sont similaires aux autres



stations, rend bien compte du caractère global du phénomène, s'étendant plus loin au-delà des limites un bassin. Ces résultats sur l'évapotranspiration confirment des études antérieures sur les variabilités spatiales et temporelles des processus

hydrologiques, notamment sur les précipitations et les écoulements fluviaux (Bamba et al., 1996 ; MAHE, 1998 ; CNRST, 2004).

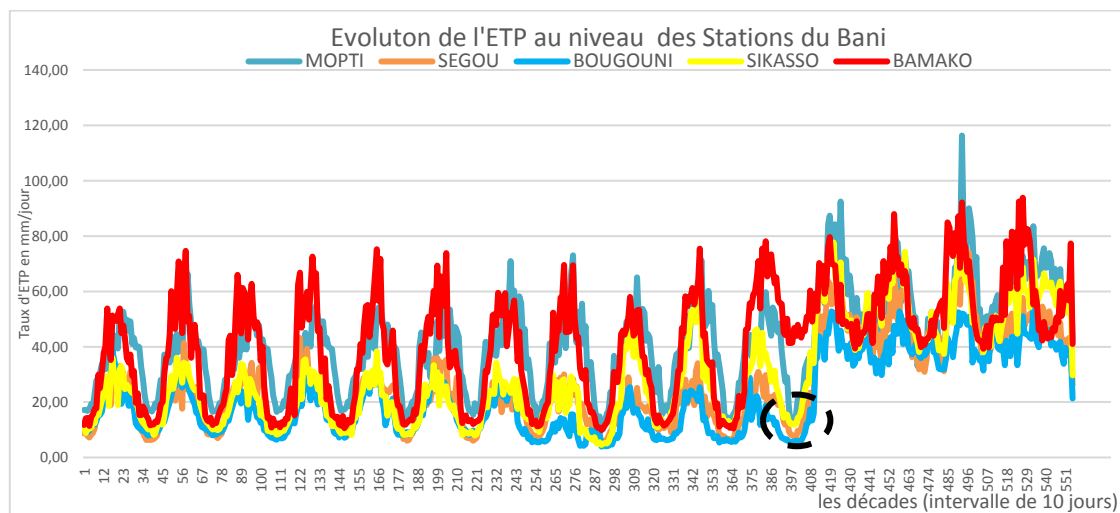


Figure 2. L'évolution de l'ETP sur la période de 2002 à 2017 au niveau des 4 stations dans le bassin versant du Bani.

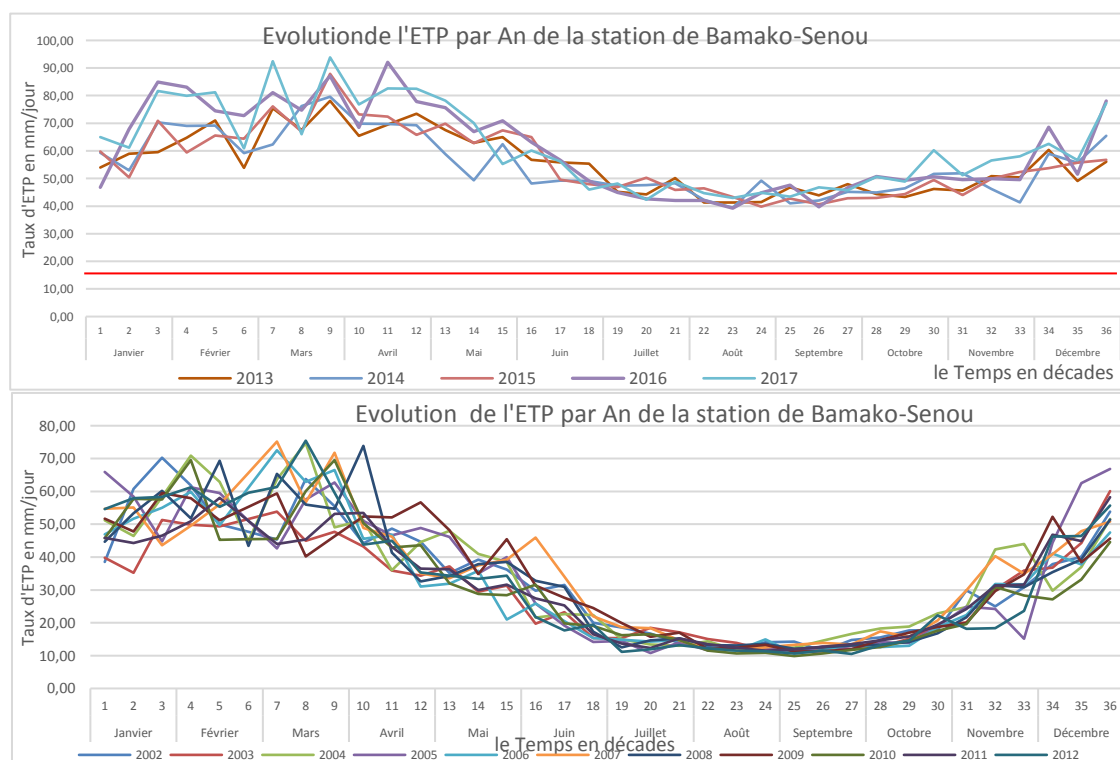
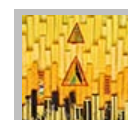


Figure 3 : évolution de l'ETP au niveau de la station de Bamako-Senou. Figure 3a. (en haut) les années 2013, 2014, 2015, 2016 et 2017. Figure 3b. (en bas). pour les années 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 et 2012



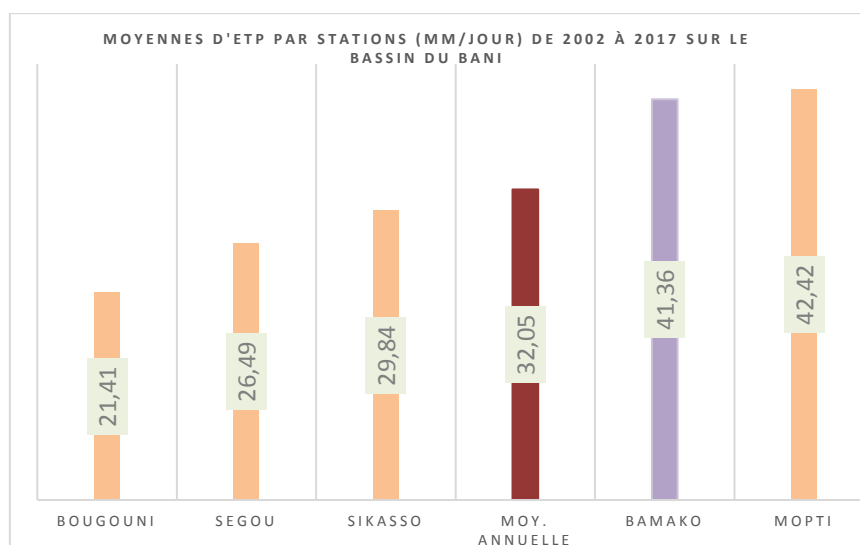


Figure 4. Répartition spatiale du flux d'ETP exprimé en moyenne interannuelle (mm/jour) pour chaque région représentée par sa station météorologique.

IV. CONCLUSION

Notre étude a apporté des précisions très importantes relatives au degré et à la modalité des variabilités spatiale et temporelle du phénomène d'évapotranspiration potentielle (ETP) sur le bassin versant du Bani. Le fait le plus remarquable est que les modifications constatées s'opèrent de façon généralisée et simultanée sur l'ensemble des territoires du bassin du Bani et même hors des limites du bassin. Ce qui signifie que ces variations sont provoquées par le même le facteur global. Or parmi les facteurs susceptibles de perturber le flux d'ETP sur une grande échelle spatio-temporelle, on peut citer les facteurs climatiques. Il serait pertinent d'examiner de près la corrélation qui peut exister entre la variabilité spatio-temporelle et la variabilité climatique sur le bassin du Bani afin de trouver une explication aux résultats que nous avons obtenus dans la présente étude.

REFERENCES

Equipe Décentralisation de Fonds Climats (DFC), *Adaptation au changement climatique : valeur économique et retour sur investissements*, Near East Foundation consortium dans le cadre du programme Building Resilience and Adaptation to Climate Extremes and Disasters (BRACED), 2017

Mustapha MJEJRA, *Étude de l'évapotranspiration dans le bassin versant de Mejerda (en Tunisie) : apport de la télédétection satellitaire et des Systèmes d'Information Géographique*. Géographie, Université Rennes 2, 2015. Français. NNT : 2015REN20050. tel-01281636

LECARPENTIER Claude, *L'évapotranspiration potentielle et ses implications géographiques*. In: Annales de Géographie, t. 84, n°463, pp. 257-274; 1975, doi <https://doi.org/10.3406/geo.1975.19812>,

https://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1975_num_84_463_19812

C. W. THORNTHWAITE, *An Approach toward a Rational Classification of Climate*, Geographical Review, Vol. 38, No. 1. (Jan., 1948), pp. 55-94, 1948, <http://www.jstor.org> Fri Aug 24 20:56:28 2007

BAMBA F., MAHE G., BRICQUET J.P. ET OLIVRY J.C., *Changements climatiques et variabilité des ressources en eau des bassins du haut Niger et de la cuvette lacustre ;* IIème JOURNÉES HYDROLOGIQUES DE L'ORSTOM, MONTPELLIER, 10-11 OCT. 1996

ROUDIER P. et Mahé G., *Calcul des pluies et débits classés sur le bassin du Bani (Mali): une approche de la vulnérabilité des ouvrages et de la population depuis la sécheresse*, Hydrological Sciences Journal, (2010) 55: 3, 351 — 363, DOI: 10.1080/02626661003683280, <http://dx.doi.org/10.1080/02626661003683280>

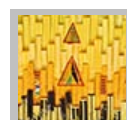
R. G. ALLEN, L.S. PEREIRA, D. RAES et M. SMITH, *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop requirements*. FAO irrigation and drainage paper, vol. 56, Rome, 15 p, 1998.

Gil MAHE, Robert DESSOUASSI, Bandia CISSOKO et Jean-Claude OLIVRY, *Comparaison des fluctuations interannuelles de piézométrie, précipitation et débit sur le bassin versant du Bani à Douna au Mali*, Water Resources Variability in Africa during the XXth Century (Proceedings of the Abidjan'98 Conference held at Abidjan, Côte d'Ivoire, November 1998). IAHS Publ. N°. 252, 1998.



S. Konaté, A. Bayoko, F. Traoré, A. Z. Traoré, A. Ballo, A. Coulibaly et B. Kassambara, *Vulnérabilité et adaptation des ressources en eau aux effets des changements climatiques dans les bassins du Sankarani et du Baoulé*, Centre National de la

Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), Bamako – Mali 2001 : Projet – Etudes de variabilité face aux changements climatiques : scénario climatique pour le Mali. Mali Symposium on Applied Sciences (MSAS) 2004



Principal Component Analysis of Hydrochemical Data From Groundwater Resources in Bamako

Mohamed Traoré and Hamadoun Bokar

Ecole Nationale d'Ingénieurs Abderhamane Baba Touré, Bamako, Mali

Corresponding author's email address: traore.mohamed19@gmail.com

SUMMARY: Groundwater is a resource that is of great importance for the social and economic development of Bamako. In the present article, attention is paid to analytical data extracted from various water extraction sources (traditional wells and boreholes) in Bamako, in order to gain a better insight into the hydrochemistry of groundwater resources. To this purpose, Principal Component Analysis (PCA) has been run on data with major ion concentrations, collected from traditional wells and boreholes over the period 2008-2009. Six PCA factors have been identified, which accounted for over 97% of the total variance. The coefficient of variation of the component scores revealed that the shallow aquifer was more subject to changes than the deep aquifer. PC1 and PC3 are associated with the main ions HCO_3^- , Mg^{2+} and SO_4^{2-} , which are related to the geological formations found in the groundwater resources. For their part, PC2 and PC6 turn out to be linked to ions Na^+ , Cl^- and NO_3^- , which are related mostly to groundwater contamination. The proportion of NO_3^- in water from traditional wells is notably higher than it is in water from boreholes. Hence, this study reveals that Bamako's shallow aquifer is more subject to human activities than the deep one. Furthermore, the data unveil a contrast in samples collected in 2016 and over the period 2018-2019, which indicate a higher level of nitrate contamination in the shallow aquifer than in the deep one. Yet, even if the nitrate concentrations are lower in the deep aquifer system, an increase of nitrate contamination over time has been detected in both cases. Therefore, this study sheds light on the fact that the pollution process is ongoing, and that actions need to be taken to prevent the degradation of the quality of groundwater resources.

Keywords: developing country, groundwater resources, multivariate analysis, nitrate contamination, urban pollution.

I. INTRODUCTION

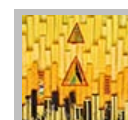
Large parts of the drinking water supply in Bamako are dependent on groundwater resources. One of the motivations for this is the deficit of drinking water facilities in the city, which is further accentuated by the size of its population. In 2011, Bamako was estimated to be over 2,350,000 [1, 2], hence representing one of the highest growth rates in Africa [3]. The uncontrolled growth of the city also contributes to the increasing need for drinking water, which leads to many private individuals resorting to traditional dug-wells and boreholes in order to meet the demand. Another cause for the use of groundwater in Bamako is the presence of an industrial area in this city, which tends to favour groundwater as a resource due to its associated good quality.

Two main types of aquifer systems constitute groundwater resources in the Bamako area [4]. On the one hand, the upper aquifer (shallow aquifer) is characterised by overburden formations, and presents intergranular porosity with good storage capacity; its thickness is generally less than 10 m. From this shallow aquifer, water is generally extracted by traditional wells. On the other hand, the lower aquifer (deep) is characterised by fractured sandstone-schist and sandstone formations [5, 6], and it has hydraulic connections with the shallow aquifers of the upper formations, through which periodic recharge of the deep aquifer passes during

the rainy season. In this deep aquifer system, water is generally extracted by boreholes.

The geochemistry of groundwater in Bamako is dominated by bicarbonate and chloride facies [7]. As far as the bicarbonate ion is concerned, it is frequently associated with calcium/magnesium, as well as with sodium/potassium. As for the chloride ion, the predominant facies is sodium chloride, although it can also be found in association with calcium/magnesium. In general, the quality of groundwater resources is linked to geological formations, probably due to the potential weathering reactions between water and rock minerals. It is also noteworthy that groundwater has been shown to be subject to contamination due to human activities [8]. For instance, the occurrence of chloride facies has been put in a relation with the level of pollution [7]. Along similar lines, it has been shown that water resources from the shallow aquifer were the ones that are most affected by anthropogenic pollutants [10], and nitrate contamination in the city of Bamako has been identified as one of the most serious pollution issues affecting groundwater quality [9, 10]. Lastly, the degradation of the quality of groundwater in Bamako can also be correlated with urban growth and the industrial development of the area [4, 9].

In this light, the main aim of this work is to analyse the state of groundwater resources in the city of Bamako. The selected method of analysis is Principal Composition Analysis (PCA), which has been applied to a body of physicochemical data



extracted from groundwater resources. The overarching purpose is to define the properties of the geological context, and to put the results in a relationship both with geological composition and with the impact of human activities. Particular attention has been paid to nitrate content, as it is connected with the level of pollution, as well as with the population growth rate.

II. METHODOLOGY

The present study has been carried out on the basis of data from three different databases, which have been provided by the *Direction Nationale de l'Hydraulique* (DNH) and the *Laboratoire National des Eaux* (LNE). These institutions are in charge of the qualitative control of water resources in Mali. The first database covers groundwater analytical results between 2008 and 2009, when water resources in Bamako were subject to less demographic pressure than they are recently. This database consists of 96 samples collected from traditional wells (TW) and boreholes (BH) throughout the six communes of Bamako. In this database, special attention has been paid to the concentration level in a number of ions, namely calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), Sodium (Na^+), Potassium (K^+), Bicarbonate (HCO_3^-), Chloride (Cl^-), Sulfate (SO_4^{2-}) and Nitrate (NO_3^-). The second and third databases correspond to 57 and 96 samples (also from TW and BH). For these two databases, attention has been paid particularly to the concentration of nitrate. In this regard, it needs to be noted that one of the purposes of the analysis is to trace chronological changes in the level of nitrate pollution. Interestingly the value of ion-balance error turns out to be below 5% in all cases, which according to Al-Shujairi (2016) is within the acceptable measurement range [11]. Principal Component analysis (PCA) has been applied to the 2008-2009 database using varimax rotation. This statistical analysis allowed to explore the datasets in order to obtain a consistent overview of the behaviour of the variables (i.e. the ions) according to PCA factors. Factor scores have been used to describe how physicochemical data vary according to the origin of water samples —i.e. either from TW or from BH. The loading component allows to identify the ions that show the strongest correlation with each of the factors considered. Lastly, the software used to carry out the PCA test and to calculate the figures is SPSS 23.

III. RESULTS

3.1 Principal component analysis (PCA)

Using the varimax rotation method, six factors have been extracted by the Principal Component Analysis applied on the 2008-2009 data. The extracted factors accounted for about 97% of the total variance. Table 1 shows the average component score for the five factors. The positive averages correspond to samples from TW, whereas the negative averages correspond

to samples from BH. On the other hand, Table 1 shows that PC2 and PC6 have the highest absolute values among the averages, whereas PC1 and PC3 account for the lowest absolute values.

The coefficients of variation illustrated in Figure 1 reveal that there exists variation between the two different types of water samples. The coefficients of variation related to PC1 and PC3 are higher for the samples from BH than TW. However, the remaining PCA factors (i.e. PC2, PC4, PC5 and PC6) show higher coefficients of variation in the samples from traditional wells than boreholes.

Table 1. Average (Ave.) and standard deviation (SD) scores of the six factors under study (TW for traditional wells and BH for boreholes)

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Eigenvalue	1.64	1.57	1.31	1.17	1.07	1.03
Total Variance (%)	20.44	19.60	16.42	14.68	13.38	12.94
Cumulative (%)	20.44	40.04	56.46	71.14	84.53	97.46
Ave. TW	0.12	0.65	0.21	0.44	0.39	0.52
Ave. BH	-0.06	-0.30	-0.09	-0.20	-0.18	-0.24
SD. TW	1.19	1.53	0.91	1.61	1.55	1.56
SD. BH	0.91	0.36	1.03	0.41	0.53	0.44

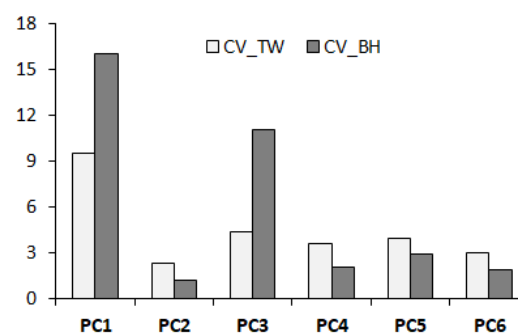


Fig. 1. Coefficient of variation (CV) of component scores of traditional wells (TH) and boreholes (BH) for the six PCA factors under study

Table 2 displays the variable loadings of the PCA factors. From this table, it is possible to consider which of the ions is related to the variation observed on each of the PCA factors. The first factor (PC1) seems to be associated mainly with HCO_3^- and Mg^{2+} , with the highest loading values at 0.90 and 0.83, respectively. The second factor (PC2) is associated mainly with Cl^- and Na^+ , with loading values at 0.85 and 0.75, respectively. PC3 refers for the most part to SO_4^{2-} , with a very high loading value, at 0.97; it is also connected to Na^+ , but with a low loading value which is at 0.52. PC4 and PC5 are respectively associated with K^+ (0.91) and Ca^{2+} (0.91). Further, the PC6 factor refers to NO_3^- , with a loading value of 0.84.

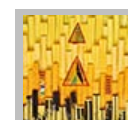


Table 2. Loadings of the variables according to the varimax rotation method for the groundwater samples from the period 2008-2009 (Loadings in bold type are > 0.50).

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Mg^{2+}	0.90	0.29	-0.08	-0.07	0.11	0.24
HCO_3^-	0.83	-0.08	0.20	0.29	0.25	-0.27
Cl^-	0.22	0.85	0.01	0.12	0.34	0.30
Na^+	0.03	0.75	0.52	0.34	0.13	0.06
SO_4^{2-}	0.05	0.11	0.97	0.08	0.03	0.14
K^+	0.10	0.21	0.11	0.91	-0.03	0.25
Ca^{2+}	0.25	0.28	0.06	-0.02	0.91	0.15
NO_3^-	0.01	0.25	0.21	0.34	0.18	0.84

3.2 Nitrate concentrations

The concentration of nitrate is likely increasing over time. In Figure 2, the box plot of nitrate (NO_3^-) concentrations in traditional wells and boreholes throws light on some chronological tendencies in the three considered periods (i.e. 2008-2009, 2016 and 2018-2019). For instance, it appears that nitrate content is higher in water samples from TW than in BH. The nitrate content in traditional wells is below 50 mg/l in the period 2008-2009 period, whereas in 2016 a large number of water samples from TW are well above 50 mg/l. As for BH water samples, the concentration of nitrate is below 5 mg/l for the samples from the 2008-2009 period. In 2016, the concentration of nitrate remains low, with only a three samples showing nitrate concentrations higher than 20 mg/l. Nonetheless, in spite of the lower levels recorded in water from boreholes, it needs to be noted that an increase can be observed between the periods 2008-2009 and 2016. As to the results from the 2018-2019 period, these display a high concentration of nitrate in both TW and BH. It also needs to be noted that in 2018-2019, over 28% of the results from BH samples show nitrate concentrations higher than 50 mg/l.

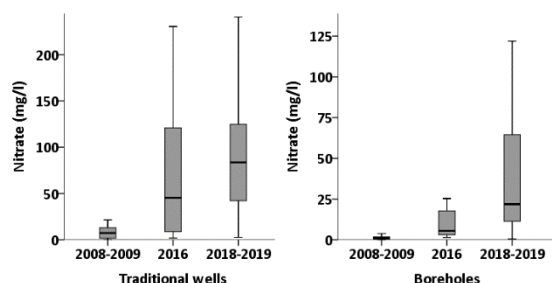


Fig. 2. Box plot of nitrate concentration in samples from traditional wells and boreholes, collected in the periods 2008-2009, 2016 and 2018-2019

IV. DISCUSSION

4.1 Differences between the two aquifer systems

The findings obtained in this research have shown that there exist considerable differences between the two types of groundwater samples investigated here (i.e. TW and BH). This section discusses some of the possible motivations for such differences.

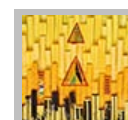
Firstly, it is likely that the depth of the infrastructures for water extraction acts as a factor. Water from TW in Bamako has its origin in the shallow aquifer, whereas water from BH derives from the deep aquifer. Thus, bearing in mind that PC1 and PC3, one may hypothesise that the higher coefficient of variation for BH water samples correlates with the geogenic influence of the deep aquifer. This is in line with the fact that previous studies have shown that the lithological characteristics of aquifers may in fact determine the quality of groundwater resources [12, 13].

On the other hand, paying attention to PC2 and PC6, the higher coefficient of variation for traditional wells might correlate with the anthropogenic influence of the shallow aquifer. Indeed, the shallow aquifer in the area studied consists mainly of overburden formations in which both intergranular and fissure permeability co-exist [9, 14]. In addition, besides the lithological characteristics the small depth of the shallow aquifer increases its vulnerability to contamination by infiltration [15, 16].

4.2 Groundwater quality and geological formations of aquifers

We have seen that PC1 and PC3 have a high loading of Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} and Na^+ . This finding is likely to be connected to the water chemical facies of the hydrogeological region in which Bamako is located. According to the value of PC1, the water samples are of the bicarbonate type, which is in accordance with various studies on groundwater chemistry in the southern edge of the Taoudeni Basin [17, 18]. This is also connected to the fact that HCO_3^- has been reported as the most dominant anion in the hydrochemistry of groundwater resources in the Bamako region [7]. Further, carbonates are present in the majority of sedimentary rocks, the weathering of which also produces Mg^{2+} ions.

On the other hand, the results obtained in this study permit to consider the dissolution of sedimentary sulphate in this region as the predominant source of SO_4^{2-} . Furthermore, the connection of SO_4^{2-} with Na^+ (according to PC3) may be linked to the occurrence of evaporites, which can be found in association with the sandstone-schist and silicate formations [4, 17, 19]. However, mineral saturation states and the ionic relations suggest that this association could be the result of cation-exchange processes. For example, the dissolution of gypsum can contribute to the production of Na- SO_4 water [20]. In light of this, one of the conclusions which may be extracted from this study is that the geological formations of the aquifer



may play a role in water quality variation, although the occurrence of sulfate and sodium could also be related to surface pollution of anthropogenic origin [17, 21].

4.3 Sodium and chloride

The coefficient of variation of PC2 may be connected to an alteration of the water in the shallow aquifer, a hypothesis that is supported by the high loadings of sodium and chloride. Even though Na^+ and Cl^- can derive from mineral weathering in some rocks, our results draw attention to the fact that groundwater quality is affected by human activities in Bamako. In a research carried out by Beatriz Helena et al. (2000), the association of Na^+ and Cl^- turned out to be connected to the presence of potentially polluting sources, such as leachates from industrial waste disposals or sewage effluents and leakages from sanitary systems [13]. Along similar lines, the correlation between sodium and chloride shown in Figure 3 suggests that the occurrence of these ions is likely to be due to non-natural contamination sources which highly affect the shallow aquifer.

On the other hand, the correlation with the data from TW may be due to the influence that anthropogenic sources have on the shallow aquifer, as is the case, for instance, of sewage or domestic waste [19]. As for the water from BH, it may be remembered that there is no correlation. This may be explained by the fact that the deep aquifer does not affect Na^+ and Cl^- [13, 22]. The correlation between Na^+ and Cl^- has been used as an indicator of the influence of sea water on the quality of groundwater [23]. This finding suggests that contamination of the water from the shallow aquifer in Bamako might be connected to the domestic usage of table salt.

4.4 Potassium and calcium

K^+ and Ca^{2+} are also important ions to get understanding about groundwater quality in Bamako. According to the coefficients of variation related to PC4 and PC5, there is an alteration in the water quality from the shallow aquifer. The PC4 and PC5 factors, which show very high loadings of K^+ (0.91) and Ca^{2+} (0.91), are related mostly to the mineralogical origin of these two ions. Studies have shown that the occurrence of K^+ and Ca^{2+} is connected to the alteration of sedimentary geological formations [24, 25]. For its part, K^+ is well known to be a naturally occurring element with a relatively lower occurrence, in comparison with Ca^{2+} , Mg^{2+} and Na^+ [26]. In this study, the influence of the geological background appeared to be an important factor that can explain the high coefficient variation observed in the water samples from the TW. This could be due to the low weathering resistance associated with overburden formations [21].

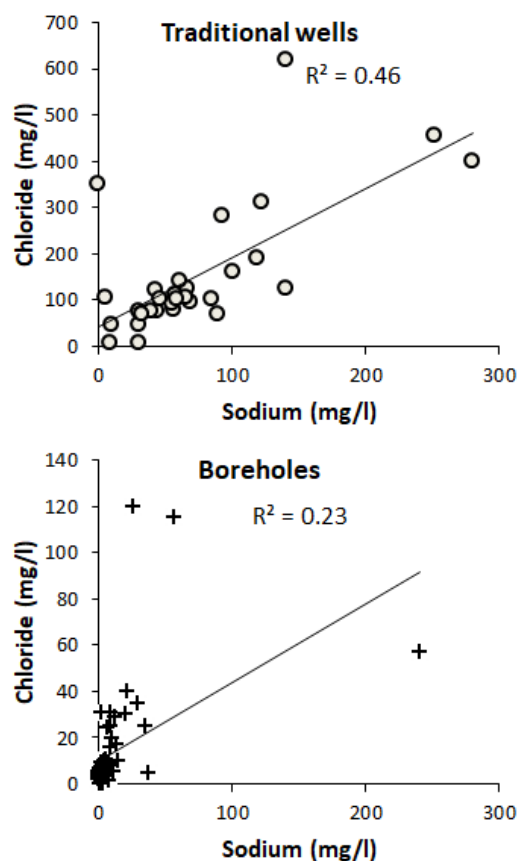


Fig. 3. Scatter plot of the concentration of Sodium and Chloride in water from traditional wells (above) and boreholes (below)

4.5 Assessment of nitrate contamination

The variance brought about by the last extracted factor (PC6) is mostly dominated by nitrate, with a high loading value of 0.84. As explained in Section 3.2, the occurrence of NO_3^- in water from the traditional wells is higher than in water from boreholes (Figure 2). The difference observed between the water from different aquifers can be connected to the fact that the shallow aquifer is more affected by the nature of the sources of nitrate contamination. In general, levels of nitrate content are lower in groundwater, but nitrate has been considered as one of the greatest pollutants of groundwater due to human activities [21, 27, 28]. Likewise, nitrate contamination of the shallow aquifer in Bamako has been reported in previous research studies as well [9, 10]. Orange and Palangié (2006) established a relationship between nitrate pollution and the lack of appropriate sanitation facilities, alongside the lack of wastewater treatment services in Bamako [10]. Additionally, the hydraulic drainage of the groundwater system during rainy seasons might be an additional cause of groundwater contamination by nitrate [9].

The evolution of nitrate content over time according to the studied water quality results confirms that human activities contribute to the pollution of



groundwater resources. The growth of population and the increase of industrial activity can be identified as one of the main causes for the increase of this pollution phenomenon. However, the highest urban growth associated with the city of Bamako might hinder the management of urban effluents [3, 29]. Many research studies have reported that there exists nitrate contamination in urban growing environments [30]. From this study, it also stands out that contamination by nitrate is found to increasingly affect even the deeper aquifer. This can be explained by the uncontrolled urban growth, which gives way to an increase of water pumping, as well as by the lack of appropriate sanitation system in the city of Bamako [10, 31].

V. CONCLUSION

By performing principal component analysis (PCA) on the major ions of groundwater chemical data, this study allows to characterise groundwater resources from the two main aquifer systems in the Bamako region. Water quality from these two aquifers is related mainly to rock weathering reactions of the geological formations. In addition, the chemical composition of groundwater in Bamako exhibits changes due to anthropogenic sources of contamination.

This piece of research further identifies bicarbonate as the dominant anion in the groundwater resources in Bamako, and it is mostly associated with magnesium. It has also been found that geological formation contributes to the occurrence of sulphate and sodium. On the other hand, sodium, chloride and nitrate have been identified as potential causes of groundwater contamination. With regard in particular to the contamination of groundwater by nitrate, it has been revealed that the traditional wells in Bamako show an increasingly high proportion of nitrate pollution. Furthermore, the deficit of sanitation facilities has been noticed as the main cause for the acceleration of this pollution process. It also needs to be noted that the recent database used in this study sheds light on the steady increase of nitrate content in the deep aquifers.

Finally, this study throws light on the easy application and relevance of the study of PCA in order to assess the quality of groundwater resources. In the particular case of Bamako, there is a need for further investigation based on recent data which leads to a better understanding of the role of this resource in the largest city of Mali. It should finally be noted that there is room for further investigation, as it is still necessary to define adequate methodological approaches which allow to tackle the issue of pollution of groundwater resources in the city of Bamako, such as machine learning models.

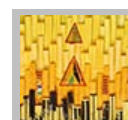
ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank Dr. Noelia Castro Chao for her linguistic feedback on an earlier version of the manuscript. The support of Prof. Amadou

Zanga Traoré is also very much appreciated. Thanks are also due to the *Direction Nationale de l'Hydraulique* (DNH) and the *Laboratoire National des Eaux* (LNE), all the MSAS committee, and the anonymous reviewer.

REFERENCES

- [1] INSTAT. (2011). Enquête par grappe à indicateurs multiples et de dépenses des ménages MICS/ELIM 2010. Résultats préliminaires du volet ELIM, <http://www.instat.gov.ml>
- [2] Gazull, L., Gautier, D., & Montagne, P. (2019). Household energy transition in Sahelian cities: An analysis of the failure of 30 years of energy policies in Bamako, Mali. *Energy Policy*, 129, 1080-1089.
- [3] Hou, H., Estoque, R. C., & Murayama, Y. (2016). Spatiotemporal analysis of urban growth in three African capital cities: A grid-cell-based analysis using remote sensing data. *Journal of African Earth Sciences*, 123, 381-391.
- [4] OSS. (2012). Gestion intégrée et concertée des ressources en eau des systèmes aquifères de l'Iulimeden, de Taoudeni/Tanezrouft et du fleuve Niger (GICRESAIT) –Rapport de synthèse hydrogéologique, décembre 2012, 56p.
- [5] Dinçer, T., Dray, M., Zuppi, G.M., Guerre, A., Tazioli, G.S., Traore, S. (1984). L'alimentation des eaux souterraines de la zone Kolokani-Nara au Mali. *Isotope Hydrology in Water Resources Development*. IAEA, Vienna, 341-365.
- [6] Díaz-Alcaide, S., Martínez-Santos, P., & Villarroja, F. (2017). A Commune-Level Groundwater Potential Map for the Republic of Mali. *Water*, 9(11), 839.
- [7] Traoré, A. Z., Bokar, H., Traore, D., Diakite L., Statistical assessment of groundwater quality in Bamako City, Mali; in: Xu, Y., Usher, B. (Eds.). (2006). *Groundwater pollution in Africa*. UNEP/Earthprint.
- [8] Fetter, C. W., Boving, T., & Kreamer, D. (2017). *Contaminant hydrogeology*. Waveland Press.
- [9] Alpha, A., Traoré, A. Z., Mariko, A., Banton, O., Villeneuve, J. P. (1991). Hydrogéologie et contamination de la nappe phréatique alimentant la ville de Bamako (Mali).
- [10] Orange, D., Palangié, A., Assessment of water pollution and risks to surface and groundwater resources in Bamako, Mali; in: Xu, Y., Usher, B. (Eds.). (2006). *Groundwater pollution in Africa*. UNEP/Earthprint.
- [11] Al-Shujairi, S. O. H. (2016). Reliability of water resources quality monitoring program data. *Al-*



Nahrain Journal for Engineering Sciences, 19(2), 246-254.

[12] Appelo, C. A. J., & Postma, D. (2004). *Geochemistry, groundwater and pollution*, second edition. Geochemistry, Groundwater and Pollution, Second Edition (pp. 1–649). CRC Press.

[13] Helena, B., Pardo, R., Vega, M., Barrado, E., Fernandez, J. M., & Fernandez, L. (2000). Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. *Water Research*, 34(3), 807–816.

[14] Smedley, P. (2002). *Groundwater Quality: Mali*. British Geological Survey and Water Aid. Available online: <http://nora.nerc.ac.uk/516317/>

[15] Mikkelsen, P. S., Weyer, G., Berry, C., Walden, Y., Colandini, V., Poulsen, S., Grotehusmann, D., Rohlfing, R. (1994). Pollution from urban stormwater infiltration. In *Water Science and Technology* (Vol. 29, pp. 293–302). Publ by Pergamon Press Inc.

[16] Takem, G. E., Chandrasekharam, D., Ayonghe, S. N., & Thambidurai, P. (2010). Pollution characteristics of alluvial groundwater from springs and bore wells in semi-urban informal settlements of Douala, Cameroon, Western Africa. *Environmental Earth Sciences*, 61(2), 287–298.

[17] Huneau, F., Dakoure, D., Celle-Jeanton, H., Vitvar, T., Ito, M., Traore, S., Compaore, N.F., Jirakova, H., Le Coustumer, P. (2011). Flow pattern and residence time of groundwater within the south-eastern Taoudeni sedimentary basin (Burkina Faso, Mali). *Journal of Hydrology*, 409(1-2), 423-439.

[18] Sidibé, A. M., Lin, X., & Koné, S. (2019). Assessing groundwater mineralization process, quality, and isotopic recharge origin in the Sahel region in Africa. *Water (Switzerland)*, 11(4).

[19] Sakram, G., & Adimalla, N. (2018). Hydrogeochemical characterization and assessment of water suitability for drinking and irrigation in crystalline rocks of Mothkur region, Telangana State, South India. *Applied Water Science*, 8(5).

[20] Fisher, R. S., & Mullican, W. F. (1997). Hydrochemical evolution of sodium-sulfate and sodium-chloride groundwater beneath the Northern Chihuahuan Desert, Trans-Pecos, Texas, USA. *Hydrogeology Journal*, 5(2), 4–16.

[21] Narsimha, A., & Sudarshan, V. (2013). Hydrogeochemistry of groundwater in Basara area, Adilabad District, Andhra Pradesh, India. *Journal of Applied Geochemistry*, 15(2), 224-237.

[22] Elango, L., & Ramachandran, S. (1991). Major ion correlations in groundwater of a coastal aquifer. *J. Indian Water Reso. Soc*, 11, 54-57.

[23] Gnanachandrasamy, G., Ramkumar, T., Venkatramanan, S., Vasudevan, S., Chung, S. Y., & Bagyaraj, M. (2015). Accessing groundwater quality in lower part of Nagapattinam district, Southern India: using hydrogeochemistry and GIS interpolation techniques. *Applied Water Science*, 5(1), 39–55.

[24] Kringel, R., Rechenburg, A., Kuitcha, D., Fouépé, A., Bellenberg, S., Kengne, I. M., & Fomo, M. A. (2016). Mass balance of nitrogen and potassium in urban groundwater in Central Africa, Yaounde/Cameroon. *Science of the Total Environment*, 547, 382-395.

[25] Ulrich, S., Gillow, J., Roberts, S., Byer, G., Sueker, J., & Farris, K. (2019). Hydrogeochemical and mineralogical factors influencing uranium in background area groundwater wells: Grants, New Mexico. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 26.

[26] Krishna kumar, S., Logeshkumaran, A., Magesh, N. S., Godson, P. S., & Chandrasekar, N. (2015). Hydro-geochemistry and application of water quality index (WQI) for groundwater quality assessment, Anna Nagar, part of Chennai City, Tamil Nadu, India. *Applied Water Science*, 5(4), 335–343.

[27] Cushing, E. M., Kantrowitz, I. H. & Taylor, K. R. (1973). *Water resources of the Delmarva Peninsular*. U. S. Geological Survey Professional Paper 822, Washington DC, 58 p.

[28] Subba Rao, N., Surya Rao, P., Reddy, G. V., Nagamani, M., Vidyasagar, G., & Satyanarayana, N. L. V. V. (2012). Chemical characteristics of groundwater and assessment of groundwater quality in Varaha River Basin, Visakhapatnam District, Andhra Pradesh, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(8), 5189-5214.

[29] Almasri, M. N. (2007). Nitrate contamination of groundwater: A conceptual management framework. *Environmental Impact Assessment Review*, 27(3), 220–242.

[30] Graham, J. P., Polizzotto, M. L. (2013). Pit latrines and their impacts on groundwater quality: a systematic review. *Environmental health perspectives*, 121(5), 521-530.

[31] Toubkiss, J. (2010). Meeting the sanitation challenge in sub-saharan cities: Lessons learnt from a financial perspective. In *Social Perspectives on the Sanitation Challenge* (pp. 163–176).



Facteurs influençant l'adoption des techniques de conservation des eaux et des sols : Cas des cordons pierreux et du zaï dans les exploitations agricoles du cercle de Bankass au Mali

Bakary Kouma^{*1}, Maguette Kaire², Hamara Dabo¹, Penda Sissoko¹, Dommo Timbely¹ et Bandiougou Diawara¹

¹Institut d'Economie Rurale

²Centre Régional AGRHYMET-Niamey

*Adresse correspondant : bakary.kouma80@yahoo.com

RESUME : Les mauvaises pratiques pour la gestion durable des terres constituent l'un des principaux facteurs de l'instabilité des récoltes dans les bassins de production des céréales sèches au Mali. L'intensification de la production agricole dans un contexte de semi-aridité du climat et de dégradation avancée des terres, suggère non seulement des recherches mais aussi une application effective des mesures conservatoires et anti-érosives. L'objectif de notre étude était de déterminer les facteurs susceptibles d'influencer l'adoption des techniques de conservation des eaux et des sols dans le cercle de Bankass. Deux communes limitrophes (Bankass et Kani-Bonzon) ont été retenues pour nos enquêtes. Nous avons conduit une enquête auprès de 167 chefs de ménages agricoles dans le cercle de Bankass. Les données de cette enquête ont été analysées à l'aide d'un modèle Probit. L'analyse économétrique révèle que, parmi les facteurs étudiés, ceux qui ont influencé la décision d'adoption des techniques de conservation des eaux et des sols par les agriculteurs ont été le niveau d'étude, la superficie exploitée, l'appartenance à une organisation paysanne, l'âge et la disponibilité/possession du matériel agricole.

Mots clés: Adoption, ménages agricoles, Conservation, Zaï, Cordon pierreux.

ABSTRACT: The bad practices for sustainable land management are main causes of instability of crops production in Mali. Enhancing agricultural production in semi-arid climate and advanced degradation context, it's suggested not only research activities but also effective application of protective and anti-erosive strategies. The objective of our study was to determine the factors influencing adoption of protective techniques of waters and soils by farmers in Bankass area. We have done investigation nearby 167 chefs agricultural in Bankass. The data of this investigation had been analyzed with Probit Model. The economic analyze showed that, among studied factors, which had influenced the decision adoption of protective techniques of waters and soils by farmers had been: training level, cultivated area, membership of farmers' organization, age and ownership of agricultural equipments.

Key words: Adoption, Farmers, Conservation, zaï, stone line.

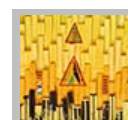
INTRODUCTION

Le Mali est un pays particulièrement vulnérable aux menaces de dégradation des ressources naturelles en raison de la pression foncière liée à une population croissante. La production y est fortement dépendante des pluies et sensible aux variations et aux changements climatiques.

Il devient alors urgent d'améliorer la gestion des terres pour répondre de manière systématique et intégrée à ce défi crucial de développement. En effet, l'essentiel de la production agricole du Mali est tributaire de la pluviométrie et des crues des cours d'eau.

La dégradation des terres au Mali constitue une menace majeure pour le secteur agricole du pays qui comprend les cultures, l'élevage, la foresterie et la pêche dans le court et le long terme. En dépit de ces performances, l'agriculture malienne reste un secteur vulnérable car le Mali est géographiquement situé dans la zone sub-saharienne où la pluviométrie est généralement déficitaire, inégalement répartie

dans l'espace et dans le temps, avec des poches de sécheresse quasi-permanentes [22]. Le problème qui se pose est de connaître les facteurs et le degré d'adoption des technologies de CES par les producteurs au Mali en général et dans la région de Mopti en particulier. En effet, la partie sahélienne du Mali est l'une des plus exposées aux caprices de la dégradation des sols et nécessite que des actions concrètes soient menées afin de réduire les effets de ce phénomène. De nombreuses initiatives de développement sur l'adoption des technologies visant l'amélioration de la productivité agricole ont été frustrées par les faibles taux d'adoption de ces technologies. Comprendre alors le rôle des facteurs influençant les décisions d'adoption peut être d'un apport important à la réussite du développement agricole. C'est pourquoi, face aux multiples dégradations des terres, le gouvernement Malien a décidé d'adopter des modes de gestion durable des ressources naturelles en définissant une approche



programmatique pour la gestion durable des terres (GDT) à partir de juillet 2007 [28].

Selon le MA [15] la dégradation des sols est exacerbée par les faibles taux d'adoption des technologies pour une exploitation plus intensive et durable des sols.

Le présent thème intitulé « Facteurs influençant l'adoption des techniques de conservation des eaux et des sols : Cas des cordons pierreux et du zaï dans les exploitations agricoles du cercle de Bankass au Mali » vise donc à identifier les déterminants de l'adoption des techniques de conservation des eaux et des sols (CES) par les agriculteurs depuis leur vulgarisation par les projets de développement, afin de mieux orienter les actions futures de lutte contre l'érosion des sols.

MATERIEL ET METHODES

Milieu d'étude.

Les données utilisées dans cette étude ont été collectées dans les communes de Bankass et de Kani-Bonzon, situés dans le cercle de Bankass, région de Mopti. Le cercle de Bankass est situé entre 14° 04' 00'' latitude Nord et 3° 31' 00'' longitude Ouest. La pluviométrie annuelle, variable d'une année à une autre et généralement mal répartie est entre 600 et 700 mm [23]. Cinq villages ont été choisis dans les deux communes. Il s'agissait des villages d'Ogotena, Kani-Kombolé, Walia, Endé Wo et Endé Toro.

Echantillonnage.

Cette recherche a concerné tous les ménages agricoles des 5 villages des deux communes du cercle de Bankass, sur un effectif total de 5 049 habitants soit 918 ménages agricoles. Pour retenir le nombre des ménages à interviewer pour les 5 villages, nous avons appliqué la formule de Slovin E [27].

Présentation de la formule et calcul.

$$n = \frac{N}{1 + N \cdot e^2}$$
 n = taille de l'échantillon attendu ; N = nombre total de ménages agricoles ;

e = marge d'erreur 7% a été retenu.

Alors on a :
$$n = \frac{918}{1 + 918 \cdot (0,07)^2} = 167.$$

Pour déterminer le poids de ménage à enquêter par village dans la zone d'étude, la formule suivante a été utilisée : $P_v = N_m / N_{tm}$, où p_v = poids du village en % ; N_m = nombre de ménage par village ; N_{tm} = nombre total de ménage dans la zone d'étude.

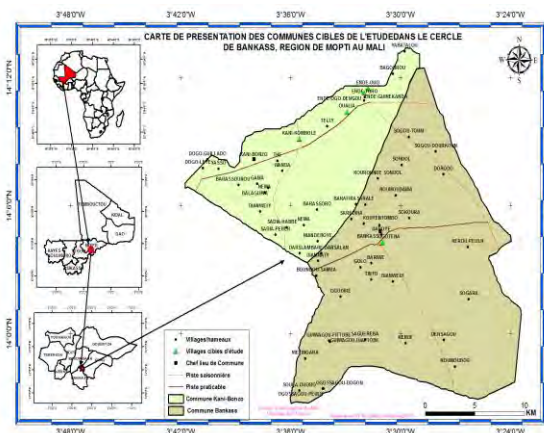


Figure 1 : Carte de la zone d'étude

Collectes et analyse des données.

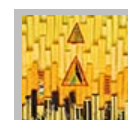
Les opérations de collecte se sont déroulées de la manière suivante : Identification des villages, le questionnaire administré aux ménages, les entretiens individuels, les observations sur le terrain, la liste des exploitations pour les villages retenus au niveau de la mairie.

Les logiciels Word et Excel ont été utilisés pour les traitements de texte, tableaux, graphiques et les statistiques simples.

L'analyse statistique des données a été effectuée à l'aide du logiciel SPSS 20, le test Probit a été utilisé pour la séparation des moyennes au seuil de signification de 5% pour toutes les variables à l'exception des matériels agricole (AGRI) et superficie (SUPERF) pour lesquelles le seuil de 1% a été utilisé. Avec le modèle probit, les coefficients des variables indépendantes ne sont pas directement interprétables. La seule information directe facilement utilisable est le signe des coefficients estimés. Un signe négatif indique que la variable associée réduit la probabilité d'adoption des technologies de conservation des eaux et des sols (CES). Un signe positif indique que la variable exogène augmente cette même probabilité d'adoption [19].

Tableau 1: Liste des variables explicatives et effet attendu.

Variables	Nature	Définition de la variable	Effet attendu
Age	Quantitative	Nombre d'années de l'exploitant en années révolues	Négatif
Actifs	Quantitative	Nombre total d'actifs du ménage	Positif
Sexe	Quantitative	Sexe des exploitants : 1=Masculin ; 2 = Féminin	Positif
Membre d'association	Qualitative	Précise si l'exploitation adhère à une association. Vaut 1 s'il adhère et 0 si non.	Positif



Statut de l'exploitant	Qualitative	L'origine du chef d'exploitation : 1 s'il est autochtone et 0 sinon.	Négatif
Superficie	Quantitative	Mesure la taille en hectares des champs de l'exploitant	Négatif
Niveau d'étude	Qualitative	Précise si oui ou non l'exploitant est instruit. Vaut 1 si l'exploitant est alphabète et 0 si non (analphabète)	Positif
Matériel agricole	Qualitative	Si l'exploitant dispose oui ou non du matériel (brouette, charrette) Vaut 1 si le matériel est disponible et 0 si non.	Positif
Perception sur technique	Qualitative	Si l'individu a oui ou non une bonne perception de la technique. Vaut 1 si la perception est bonne et 0 si non.	Positif
Formation	Qualitative	Si l'individu a oui ou non reçu une formation sur la technique. Vaut 1 si la formation est effective et 0 si non.	Positif
Appui	Qualitative	Si l'individu a oui ou non reçu un appui (subvention ou crédit) pour exécuter la technique. Vaut 1 si l'appui est effectif et 0 si non.	Positif

RESULTATS

Les résultats des données de l'enquête montrent les différentes techniques utilisées dans les sites d'étude. Dans cet échantillon 44% des chefs de ménages adoptent les cordons pierreux, suivi du zaï (24%), et zaï et des cordons pierreux (16%). Les autres techniques, à savoir les digues filtrantes (6%), les bandes enherbées (2%) et les haies vives (8%) sont les moins pratiquées par les chefs de ménages échantillonnés (figure 2).

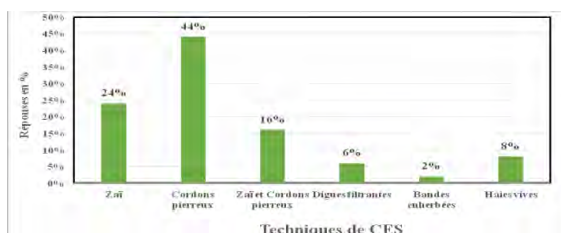


Figure 2 : Techniques identifiées dans la zone d'étude.

Résultats de l'analyse des déterminants de l'adoption du zaï et des cordons pierreux

• Estimation du modèle d'adoption du zaï

A différents seuils de probabilité, la majorité des coefficients (les variables) du modèle probit ne sont pas significatifs. Ainsi les résultats de l'estimation du modèle (Tableau III) montrent que les variables

SUPERF (0,999***) et MBRE-OP (0,085**) sont significatives respectivement aux seuils de 1% et de 5%.

L'appartenance à une organisation paysanne est positivement corrélée (1,120) avec la variable expliquée. C'est-à-dire un producteur membre d'une organisation paysanne (OP) a plus de chances d'adopter la technique. La superficie est négativement corrélée (- 83,489) avec la variable expliquée. Enfin les autres variables ne sont pas significatives.

Tableau 2: Coefficients de la régression du modèle d'adoption du zaï.

Variables	Coefficients	Erreur Standard	Wald	Signif
AGES	106,835	6897,562	0,000	0,988
SEXE	1,182	0,943	1,574	0,250
STATEXP	-0,664	0,858	0,494	0,482
NIVINST	2,352	5522,156	0,000	1,000
MBRE-OP	1,120	0,650	2,967	0,085**
FORMAT	163,509	5445,496	0,001	0,976
MAT-AGRI	-0,881	1,427	0,339	0,560
PERCEPT	0,097	1,112	0,008	0,931
APPUI	- 82,513	3270,883	0,001	0,980
SUPERF	- 83,489	7873,447	0,000	0,999***
NBACTIF	-0,317	1,045	0,92	0,762
CONSTANTE	- 557,840	18517,289	0,001	0,976

*** : significatif au niveau 1% ; ** signification à 5%, Prédiction : 97%.

• Modèle d'adoption des cordons pierreux

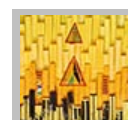
Les coefficients du modèle d'adoption des cordons pierreux sont en majorité non significatifs au seuil de 5%. Ainsi les résultats de l'estimation du modèle montrent que seule la variable âge (0,011**) est significative au seuil de 5%. Il est statistiquement correct d'affirmer que cette variable est corrélée (1,426) positivement avec la variable expliquée. Plus les chefs de ménages sont âgés, plus ils ont de forte chance d'adopter les cordons pierreux.

Tableau 3: Coefficients de la régression du modèle d'adoption des cordons pierreux.

Variables	Coefficients	Erreur Standard	Wald	Signif
AGES	1,426	0,562	6,434	0,011**
SEXE	0,897	0,797	1,268	0,260
STATEXP	-0,204	0,768	0,071	0,790
MBRE-OP	0,317	0,545	0,338	0,561
PERCEPT	-0,104	0,920	0,013	0,910
MAT-AGRI	0,567	1,323	0,184	0,668
SUPERF	-0,636	0,629	1,021	0,312
APPUI	0,669	0,837	0,698	0,404
FORMAT	0,323	0,386	0,703	0,402
NBACTIF	0,537	0,377	2,027	0,154
NIVINST	-0,129	0,360	0,130	0,719
CONSTANTE	-0,644	0,828	0,605	0,437

** : significatif au niveau 5%, Prédiction : 67%

• Modèle d'adoption de la combinaison zaï et cordons pierreux



A différents seuils de probabilité (1% et 5%), la majorité des coefficients du modèle probit ne sont pas significatifs. Les résultats du modèle montrent que les variables MAT-AGRI (0,999***) et SUPERF (0,999***) sont significatifs au seuil de 1%. Les matériels agricoles sont positivement corrélés avec la variable expliquée (18,313). C'est-à-dire plus le producteur est équipé et plus il a de forte chance d'adopter cette technique. La superficie est négativement corrélée (-15,594) avec la variable expliquée. C'est-à-dire plus le producteur a une surface importante, moins il y a de chance d'adopter cette technique. Les autres paramètres ne sont pas statistiquement significatifs quel que soit le seuil.

Tableau 4: Coefficients de la régression du modèle d'adoption du zaï et des cordons pierreux

Variables	Coefficients	Erreur Standard	Wald	Signif
AGES	-0,461	1,511	0,093	0,76
SEXE	1,1	0,967	1,487	0,58
STATEXP	1,665	1,083	2,335	0,223
NIVINST	0,546	1,25	0,19	0,663
MBRE-OP	-1,024	0,699	2,146	0,143
FORMAT	0,798	1,454	0,301	0,583
MAT-AGRI	18,313	27785,019	0,000	0,999****
APPUI	-0,228	1,4	0,027	0,871
SUPERF	-15,594	7737,104	0,000	0,999***
PERCEPT	0,817	1,097	0,546	0,46
NBACTIF	-0,719	1,3	0,306	0,58
CONSTANTE	11,511	5014,871	0,000	0,998

*** : significatif au niveau 1% ; Prédiction : 98,2%

Cependant, il faut noter que certaines variables présentes dans le modèle n'ont pas d'effets significatifs sur l'adoption du zaï et des cordons pierreux, même si elles influencent positivement ou négativement sur les variables dépendantes. Il s'agit de la formation, la perception et le niveau d'instruction.

Les résultats sur le terrain ont montré qu'on ne peut pas penser environnement en dehors de l'action des sociétés qui occupent, transforment et gèrent un espace. Une action environnementale en matière de CES aura donc plus de chance d'aboutir seulement si les populations locales ont un intérêt objectif à modifier leurs anciennes pratiques.

DISCUSSIONS

Les résultats montrent que l'âge est déterminant pour l'adoption des cordons pierreux, mais il n'a pas d'effet sur le zaï ni sur la combinaison des deux (zaï et cordons pierreux).

Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par [8] sur les cordons pierreux mais contraire à ceux obtenus sur les zaï et la combinaison des deux. Des résultats différents ont été obtenus par [18]. Selon [18], il y a souvent une corrélation entre un individu plus âgé et la faible utilisation de nouvelles technologies. Les résultats obtenus confirment ceux obtenus au Kenya [20]. Ces résultats sont aussi en accord avec des études menées en Ethiopie [4] ; au Mexique [30] et au Burkina Faso [7].

Les résultats montrent que le sexe influence positivement l'adoption des trois techniques zaï, cordon pierreux et la combinaison des deux techniques. Ces résultats corroborent avec une étude menée au Mexique [30] et contraires à ceux obtenus au Benin [1]. Les hommes ont plus accès à l'information et aux intrants comparés aux femmes [6].

Le niveau d'instruction n'a pas eu l'effet attendu pour l'adoption du zaï et des cordons pierreux. Par contre elle a un effet positif sur l'adoption du « zaï et cordons pierreux ». Ce résultat est conforme à ceux obtenus au Burkina Faso [26]. Les techniques que nous avons étudiées ne requièrent pas une telle maîtrise, c'est ce qui pourrait expliquer, que le niveau d'éducation ne soit pas déterminant pour l'adoption des cordons pierreux.

Selon [9] le niveau d'instruction accroît la capacité de compréhension de l'information concernant la nouvelle technologie. Les producteurs de niveau d'instruction plus élevé sont les adoptants potentiels [9].

Elle influence positivement l'adoption des techniques de CES par les populations paysannes. Ce résultat s'expliquerait en ce qui concerne les cordons pierreux et le « zaï et les cordons pierreux » par le minimum de connaissance requis pour la mise en place de ces ouvrages notamment la détermination des courbes de niveau. Il confirme notre hypothèse selon laquelle la formation en tant qu'expérience du paysan favorise l'adoption des techniques de CES. Ce résultat signifie dans ce cas que l'adoption du zaï ne requiert pas une certaine expérience en matière de technique de CES ou que la mise en place du zaï ne requiert pas beaucoup de connaissances techniques, ce qui est en accord avec des études réalisées au Mexique [30] et au Burkina Faso [7].

Elle influence négativement l'adoption du zaï et cela confirme notre hypothèse (la technique du zaï requiert une certaine main d'œuvre suivant la taille de la parcelle). De plus, cette technique est appliquée annuellement contrairement aux cordons pierreux qui, une fois mis en place a une durée de vie de plus de 15 ans. Une étude menée en Ethiopie sur l'adoption des cordons pierreux indique une



corrélation positive [2], ces résultats sont en contradiction avec les nôtres.

Lorsque le zaï et les cordons pierreux sont combinés, l'espacement entre les cordons pierreux est toujours réalisable. Ces résultats corroborent de celui de [7] au Burkina Faso.

Certains éléments de la structure des exploitations, comme la superficie cultivée, a un effet positif sur l'adoption des aménagements antiérosifs. Les exploitations ayant le plus de main d'œuvre adoptent davantage les aménagements antiérosifs, car leur réalisation (cordons pierreux et zaï) demande une forte mobilisation de la main d'œuvre. Parmi les producteurs sondés, la majorité des producteurs avaient des parcelles fragmentées, mais les résultats indiquent que le morcellement des terres n'a pas été un obstacle à l'adoption des pratiques agricoles. Dans un autre contexte, [5] ont montré que la fragmentation des terres peut être le reflet d'une insécurité foncière et que cette insécurité peut décourager les producteurs à faire des investissements.

Matériel agricole influence positivement l'adoption du « zaï et des cordons pierreux ». D'une façon générale, les matériels agricoles sont déterminants pour l'adoption des cordons pierreux et « zaï et cordons pierreux ». Nous notons une relation positive entre l'adoption des techniques de CES et la valeur du matériel agricole. Ces résultats confirment notre hypothèse qui sous-tend que l'amélioration du niveau d'équipement favorise l'adoption des techniques de CES et confirment les résultats trouvés [11] au Burkina Faso. Ces matériels influencent par contre négativement les décisions d'adoption du zaï. Le zaï pratiqué actuellement sur toute l'étendue de notre zone d'étude est un zaï manuel qui utilise du matériel comme la daba, les marteaux et la barre-à-mine.

Par rapport aux deux autres techniques, les cordons pierreux permettent de traiter de grandes superficies. Les sols où le zaï est appliqué sont généralement plus dégradés.

L'appartenance à une organisation paysanne a un impact positif sur la probabilité d'adoption du zaï et des cordons pierreux et négatif sur la combinaison des deux zaï et cordons pierreux. Ces résultats concordent avec ceux d'autres études [3;10 ; et 24]. Ces résultats corroborent aussi les travaux effectués au Burkina Faso [7 ; 12 et 13] . Les facilités d'accès au crédit et au matériel sont également des facteurs qui pourraient expliquer pourquoi cette variable est déterminante pour l'adoption des cordons pierreux et du zaï. Enfin, la mise en place du zaï peut se faire de façon individuelle (sans travaux communautaires) chaque année.

La perception est déterminante pour l'adoption du zaï et de la combinaison des deux (zaï et cordons pierreux). Ces résultats confirment ceux obtenus à Andit Tid en Ethiopie [25]. Lorsque les effets de l'érosion des sols deviennent perceptibles, le paysan entreprend de les arrêter soit avec les cordons pierreux soit avec le zaï. Suivant la sévérité de la dégradation, le paysan après avoir adopté l'une des deux techniques la combine avec l'autre pour maintenir ou accroître les capacités productives du sol.

En effet la perception d'une technologie par les producteurs peut influencer son adoption [2]. Les résultats obtenus [2] en Ethiopie, sont en contradiction avec les nôtres. Les résultats d'enquête montrent que la connaissance par le chef de ménage des problèmes d'érosion sur ses parcelles a favorisé l'adoption des aménagements, ce qui rejoint les résultats d'une étude conduite au Népal [14].

Les résultats d'enquêtes montre que les agriculteurs de la région de Mopti ont conscience de l'état de leurs sols à partir de critères visibles (flore, faune, état de surface, texture, couleur) et économiques (productivité du travail et productivité de la terre). Ces résultats sont en conformité avec les résultats d'une étude menée au Cameroun [17 ; 16].

Globalement le nombre d'actifs du ménage a un effet positif sur l'adoption des cordons pierreux. Par contre son effet est négatif sur l'adoption du zaï et la combinaison des deux (zaï et cordons pierreux). Ce résultat est en conformité avec une étude menée au Mexique [30]. Le zaï requiert peu de main-d'œuvre par rapport aux cordons pierreux. Mais la pratique du zaï est annuelle alors qu'une fois la mise en place des cordons pierreux terminée, le ménage peut les utiliser sur plus de 15 ans suscitant ainsi l'intérêt des ménages ayant un grand nombre d'actifs.

Le coefficient de cette variable a un effet négatif sur l'adoption du « zaï et cordons pierreux » et du zaï, par contre influence positivement sur l'adoption des cordons pierreux. Ce résultat n'est pas conforme à ceux de [12] et [21] qui trouvent ces mêmes déterminants significatifs aux mêmes seuils lors des études menées respectivement dans le Yatenga et dans le Boulkiemde. Dans les zones céréalières du cercle de Bankass les ménages participent à des travaux collaboratifs entre les membres d'une même famille ce qui augmente l'offre de travail disponible pour mettre en œuvre les pratiques agricoles. Ce qui concordent avec les résultats obtenus [10] et [29]

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'analyse économétrique a permis d'identifier les variables qui sont susceptibles d'influencer l'adoption des techniques de CES. Le choix de



pratiquer ou non les techniques de CES est influencé par des facteurs socio-économiques et environnementaux. Les variables identifiées comme ayant un impact significatif sur la probabilité d'adoption des technologies de CES sont : l'âge, l'appartenance à une organisation paysanne, la superficie et le matériel agricole. De façon positive nous avons la formation, la perception, le statut de l'exploitant et le niveau d'instruction. Une prise en compte raisonnable de ces variables dans un programme de développement pourrait contribuer à soutenir l'adoption des techniques de CES.

L'appartenance à une organisation paysanne est déterminante pour l'adoption des cordons pierreux. En revanche, les décideurs politiques, organisations sociales et producteurs ont plus de contrôle sur des variables au niveau de l'exploitation. A cet égard, des réformes politiques visant à organiser les producteurs au sein d'associations au travers desquelles des services de vulgarisation peuvent être offerts pourraient améliorer le taux d'adoptions des bonnes pratiques agricoles. La formation reçue en cordons pierreux contribue de façon positive à améliorer l'efficacité de cette technique par l'accroissement des productions.

PERSPECTIVES

- Faciliter la formation des paysans sur les techniques de CES surtout en ce qui concerne les cordons pierreux ;
- Agir par des programmes de développement sur les facteurs influençant l'adoption des techniques de CES ;
- Mettre à la disposition des Organisations Professionnelles Agricoles (OPA) des moyens techniques et financiers pour diffuser les technologies à la base ;
- Réaliser une autre étude sur un groupe cible pratiquant régulièrement la technologie, à travers un suivi-évaluation durant une période d'au moins trois ans.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Adeoti R, Coulibaly O et Tamo M, 2002. «Facteurs affectant l'adoption des nouvelles technologies du niébé *Vigna unguiculata* en Afrique de l'Ouest ». *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, n° 36- Juin 2002, 18p.
- [2] Aklilu A et Jan de G, 2006. «Determinants of adoption and continued use of stone terraces for soil and water conservation in an Ethiopian high land watershed ». *Ecological, economics*, 9p.
- [3] Ali L, Mangheni N. M, Sanginga P.C, Delve R. J, Mastiko F et Miiro R, 2007. «Social capital and adoption of soil fertility management technologies in Tororo district, Uganda».
- [4] Bekele S et Holden S, 1998. «Resource degradation and adoption of land conservation technologies in the Ethiopian Highlands. A case study in Andit Tid, North Shewa ». *Agric. Econ.*, 18: 233-247.
- [5] Bizimana C, Nieuwoudt W. L et Ferrer S. R, 2002. «Factors influencing adoption of recommended farm practices by coffee farmers in Butare, southern Rwanda ». *Agrekon*, 41 (3), 237-248.
- [6] Dey J, 1981. «Gambian Women: unequal partner in rice development projects», 57p.
- [7] Dibouloni J.B, 2004. « Analyse de l'adoption des techniques du zaï et des cordons pierreux dans les régions du Centre et Centre-sud » Mémoire de fin d'étude Université Polytechnique Bobo-Dioulasso, 120p.
- [8] Elisabeth G.T, 2012. «Facteurs influençant l'adoption de bonnes pratiques agroenvironnementales par les producteurs de grandes cultures dans le bassin versant de la rivière châteauguay». Mémoire de fin de cycle en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.), centre universitaire de, Québec, canada, 80p.
- [9] Feder G. R, Murga I et Quizon J. B, 2003. «The impact of farmer field schools iii. indonesia », 2003, indonesia. world bank policy research working paper 3022. 1- 45pp.
- [10] Kassie M, Jaleta M, Shiferaw B, M'mbando F et Mekuria M, 2013. «Adoption of interrelated sustainable agricultural practices in smallholder systems: evidence from rural Tanzania. » *Technological Forecasting and Social Change*, 80(3), 525-540.
- [11] Kazianga H et Masters W. A, 2001. «Investing in soils : fields bunds and microcatchment in Burkina Faso. » *Selected paper at the american agricultural economists association annual meeting*, 5-8 August, 32p.
- [12] Kinane L.M, 2002. «Analyse économique des déterminants de l'adoption des techniques de conservation des eaux et des sols au Yatenga : cas des cordons pierreux et du zaï. » Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur du développement rural à l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, 117p.
- [13] Kini J, 2007. « Analyse des déterminants de l'adoption des technologies de conservation des eaux et des sols dans le plateau central du Burkina Faso ». Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'études Approfondies (DEA) à l'Université de Ouagadougou, 86p.



- [14] Krishna R, Tiwari Bishal K, Sitaula I. L, Nyborg G. P et Paudel S, 2008. «Determinants of farmers' adoption of improved soil conservation technology in a middle mountain watershed of Central Nepal ». *Environ. Manage*, 42: 833-846.
- [15] MA, 1999. «Stratégie et plan d'action de gestion intégrée de la fertilité des sols. IFDC-Afrique, Ouagadougou », 101p.
- [16] Mbetid-Bessane E, Havard M et Djondang K, 2006. «Evolution des pratiques de gestion dans les exploitations agricoles familiales des savanes cotonnières d'Afrique centrale ». *Cah. Agric*, 15 : 555-561.
- [17] M'biandoun M et Olina J. P, 2007. «Savoir paysan et fertilité des terres au Nord-Cameroun ». *Cah. Agric*, 16: 185-197.
- [18] Mitchell R, 2006. «Study on identifying rural sociological barriers to adoption. Research report, Canada, Alberta Research Council », 224p.
- [19] Neupane R. P. K. R, Sharma G. B et Tharpa, 2002. «Adoption of agro forestry in the hills of Nepal: A logistic regression analysis ». *Agricultural system*, 72 : 177-196.
- [20] Odera M. M, Kimani S. K et Musembi F, 2000. «Factors influencing adoption of integrated use of manure and inorganic fertilizer in central highlands of Kenya. » In: *Proc. Collaborative and Participatory Research for Sustainably Improved Livelihoods. Nairobi, Kenya, Kenya Agricultural Research Institute, 7th Biennial Scientific Conf*, p. 58-64.
- [21] Pare L.N, 2003. «Analyse économique des déterminants de l'adoption des techniques de conservation des eaux et des sols dans le Boulkiemdé : cas des haies vives ». Mémoire de fin d'étude IDR/UPB, 88p.
- [22] PGDTE, 2016. «Catalogue de bonnes pratiques pour la gestion durable des terres et des eaux dans les bassins de production des céréales sèches au Mali». Catalogue, 102p.
- [23] Promisam, 2011.«Synthèse des plans de sécurité alimentaire des communes de cercle de Bankass», 24p.
- [24] Rodriguez E. M et Arriaza M, 2013. «Adoption of conservation agriculture in olive groves: evidences from southern Spain» *Land Use Policy*, 34(0), 294-300.
- [25] Shiferaw B et Holden S. I, 1998. «Ressource degradation and adoption of land conservation technologies in the Ethiopian highlands: a case study in Andit Tid, North Shewa ». *Agricultural economie*, 18 (3) : 233-247.
- [26] Sibone W.E, 2012. «Analyse des déterminants de la gestion de la fertilité des sols dans les exploitations cotonnières au Burkina Faso: cas de la zone Faso Coton ». Mémoire de fin de cycle à l'Université Polytechnique de Bobo Dioulasso (UPB), 80p.
- [27] Slovin E., 1960. Slovin's formula. Site web : <http://www.statisticshowto.com/>. Consulté le 13/06/2016
- [28] STP/CIGQE, 2010. «Approche programmatique de la gestion durable des terres au Mali», 56p.
- [29] Teklewold H, Kassie M et Shiferaw B, 2013. «Adoption of multiple sustainable agricultural practices in rural Ethiopia.». *Journal of Agricultural Economics*, 64(3), 597- 623.
- [30] Ubertino S, 2015. «Faire face à la crise du café : L'adoption de pratiques agricoles durables chez les producteurs de café au Mexique ». Mémoire Maîtrise en agroéconomie Université de Laval, Québec, Canada, 117p.



Etude et conception d'une station météo locale avec des capteurs intelligents

Bourama Coulibaly¹, Kya Abraham Berthé² et Awa Soronfé Dombia³

¹Centre de recherche et de Formation pour l'Industrie Textile, Département Electricité, Electronique et Automatique, Ségou, Mali

²Université des sciences techniques et technologiques, Faculté des Sciences Techniques, Département physique, Bamako, Mali

³Centre de recherche et de Formation pour l'Industrie Textile, Ségou, Mali.
Email : bcoulibaly28@yahoo.fr; berthemoni@yahoo.fr; awasoronfe@gmail.com

RESUME: La recherche de solution optimale afin d'améliorer la résilience face au changement climatique est un challenge pour la population et surtout les pays pauvre. Ce projet de recherche porte sur l'étude et la conception d'une plateforme de station météo locale basée sur la technologie des capteurs intelligents Arduino. Ces capteurs récupéreront les informations météorologiques comme : la température et l'humidité de l'air, du sol, le vent le soleil la pluie etc.. Toutes ces informations récupérées seront envoyées dans une base de données Firebase par un Wi-Fi Shield. Les modèles de prévision numérique du temps utilisent les lois de la dynamique des fluides et de la chimie de l'atmosphère pour assimiler les données météorologiques disponibles sur une grille de calcul et projeter leur évolution dans le temps. Nous avons développé une application mobile avec Ionic qui nous permet d'assurer l'accès aux informations en temps réel. Notre projet permet à l'utilisateur d'accéder à ces informations partout à faible coût par rapport aux stations classiques, cela afin de garantir le développement durable.

Mots clés : changement climatique, capteurs intelligents Arduino, Firebase, Wi-Fi Shield, météorologique.

I. INTRODUCTION

Les observations météorologiques débutent au XXe avec le progrès en matière de prévision [1]. Dès 1960, les observations se font à partir des satellites [1][2]. Et les données météorologiques sont archivées et stockées dans des bases de données. Afin d'être utilisées dans les modèles numériques de prévision du temps ou d'évolution du climat. La station météorologique est donc un ensemble d'appareils (capteurs) qui enregistrent et fournissent des mesures physiques et des paramètres météorologiques liés aux variations du climat. Les stations météorologiques sont utilisées dans les domaines de l'agriculture pour la surveillance des paramètres climatiques favorables aux cultures, de la sécurité routière pour la surveillance des conditions d'adhérence des véhicules sur la chaussée, des obstacles météorologiques à la circulation etc [1] [3]. Elle permet de quantifier le cycle de l'eau, de prévoir le temps, de simuler des processus environnementaux complexes et de prédire les dangers naturels comme les ouragans et les tornades.[2] [3]

Dans ce projet, nous avons étudié une station météo afin de réaliser une plate-forme autonome pour mesurer les phénomènes physiques existants en temps réel. Cette station est connectée à WIFI au réseau internet. La station grâce à plusieurs capteurs intelligents récupère les données et les envoie vers Firebase (ensemble de services d'hébergement) à travers un WIFI Shield. L'utilisateur a accès à ces informations en temps réel sur son smartphone via une application développée sur l'Ionic.

Cet article commence par une description de la zone d'étude, ensuite les matériels et méthodes d'analyse

de données sont décrits, une conception de la station et des bases de données sont réalisées et les données reçues par la station locale sont traitées et analysées, les résultats obtenus par le traitement et l'analyse des données sont discutés et nous allons finir par une conclusion.

II. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE AUSSI LE LIEU DES TESTES

Le Mali-Sud ou zone cotonnière est la principale région agricole au Mali. Il couvre la région administrative de Sikasso, le sud des régions de Ségou et Koulikoro, le sud-est de la région de Kayes sur environ 150 000 km². Le Mali-sud est sous encadrement agricole de la Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles (CMDT) et de l'Office de la Haute Vallée du Niger (OHVN) depuis les années 1970.[4]

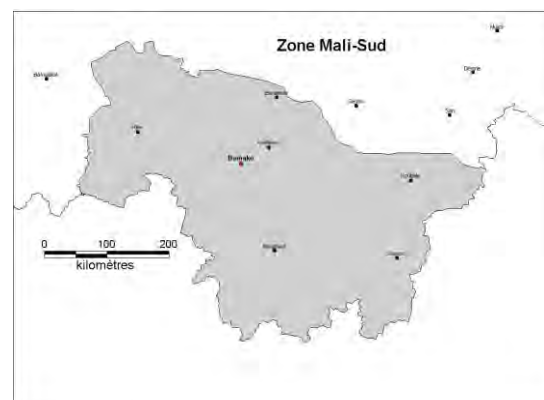
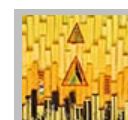


Figure1 : Zone Mali-Sud
(Source CIRAD (février 2012) "Un rapport de l'Observatoire des Agricultures du Monde" p.12)



Nous avons choisi Sikasso la troisième région administrative du Mali et Avec une superficie de 71790km² soit 5.8% du territoire national [4]. Sikasso est la première région productrice du coton au Mali plus précisément cercle de Yorosso premier producteur du coton de Sikasso en 2019. la station locale donne une précision sur les périodes d'utilisation de l'herbicide car elle nous renseigne sur l'état d'humidité du sol.

III. MATERIEL ET METHODES D'ANALYSE DE DONNEES

3.1 Matériels

Les matériels que comporte une station météo dépendent de si elle est manuelle ou automatique [5]. Une station automatique comporte un certain nombre d'instruments reliés à un processeur central préprogrammé. Ce dernier stocke les données dans un enregistreur de données ou bien en faire la transmission par câble ou par ondes radio vers un ou plusieurs lieux d'exploitation plus ou moins éloignés. Le nombre de capteurs varie selon les besoins. les Capteurs Intelligents sont des dispositifs matériels dans lesquels coexistent les capteurs et les circuits de traitement, et leurs relations avec des couches de traitement supérieures vont bien au-delà qu'une simple "transduction de signal" [9]. Les capteurs intelligents rendent la logique industrielle ambiante d'intégration des systèmes afin de les rendre plus compacts (réduction de volumes et de poids), plus fiables, mieux répartis (possibilité de communication numérique ou non) et aussi meilleurs marchés. [9]

Pour réaliser notre plateforme automatique, nous avons utilisé

- une carte ArduinoUno,
 - un module wifi,
 - un module horloge RTC,
 - un capteur detempérature et d'humidité d'air
 - Un capteur de détection de pluie,
 - un capteur d'humidité du sol,
 - une photorésistance.
-
- DHT11: Ce capteur nous permet de récupérer les informations concernant la température et l'humidité atmosphérique.
 - MH-RD : Capteur qui nous permet de détecter la présence de pluie ou pas.
 - YL : Ce capteur nous permet de tester l'humidité du sol. Elle nous permet de savoir le degré d'humidité du sol.
 - LDR : qui est une photorésistance nous permettant déduire si le ciel est nuageux, ensoleillé ou s'il fait nuit.
 - module RTC permet de renvoyer l'heure du lieu où se trouve la station de base.

3. 2 Méthode

La méthodologie utilisée consiste à mesurer les cinq (5) paramètres clés pour déterminer le climat en temps réelles données recueillies sont stockées dans une base de données Firebase via un WIFI Shield. afin une application téléphonique est développée sur Ionic, qui affiche l'information à temps réel. Les cinq (5) paramètres clés à mesurer sont :

✓ La température de l'air

La température est la grandeur physique qui caractérise de façon objective la sensation subjective de chaleur ou de froid laissée par le contact de l'air.

✓ L'humidité

L'humidité c'est le rapport de la pression effective de la vapeur d'eau à la pression maximale.

✓ La pression atmosphérique

Le baromètre fournit une indication sur la tendance du temps pour les prochaines heures mais ne permet cependant pas de faire des prévisions précises.

✓ Les précipitations

Les précipitations désignent tous les météores qui tombent dans une atmosphère et il peut s'agir de solides (neige, grêle) ou de liquides (pluie) selon la composition et la température de cette dernière

✓ L'ensoleillement

L'ensoleillement est la mesure du rayonnement solaire que reçoit une surface au cours d'une période donnée

IV. RESULTATS

4.1 La Maquette de la station de météo

Après la mise en place de notre base de données et les différents tests réalisés, nous obtenons la maquette suivante :

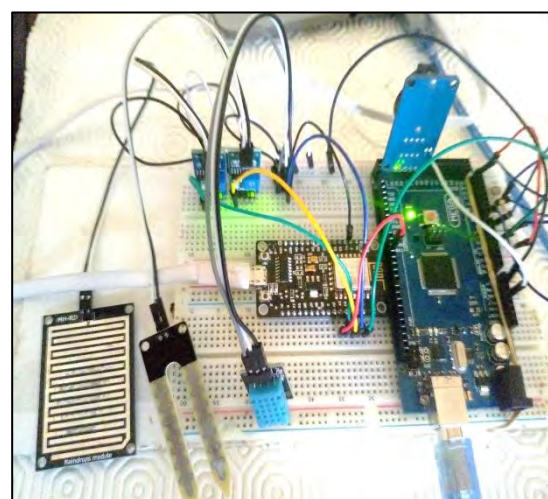


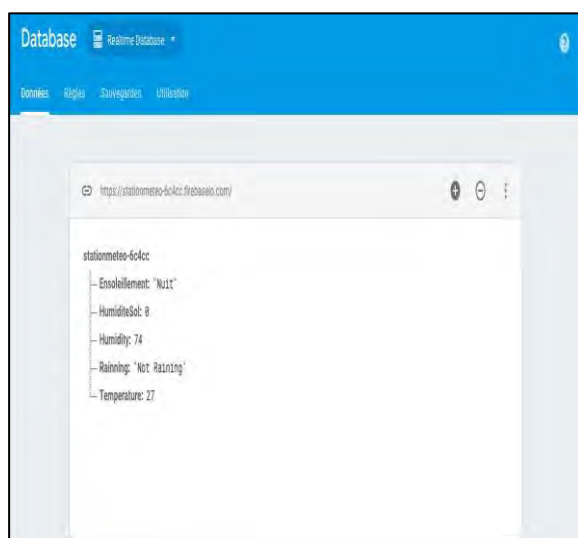
Figure2 prototype de la station météo locale

La carte ESP grâce aux capteurs récupère les informations.





Et les envois dans la base de données Firebase en se connectant via un point d'accès. Les informations sont hébergées sous la forme de données brutes déstructurées (base de données NoSQL)



Et une fois ces informations stockées dans Firebase, l'application mobile y a accès. Une carte ArduinoUno alimentée par une batterie externe assure l'alimentation des capteurs et de la carte ESP.

4.2 Réalisation de l'application par les utilisateurs en temps réel

L'accès à la plate-forme en temps réel étant une nécessité, nous avons développé une application mobile, qui donne à l'utilisateur l'accès aux informations que fournit la plateforme en temps réel. [3]

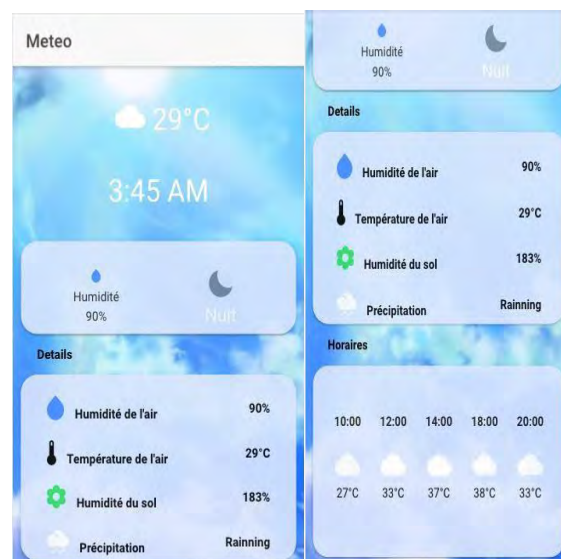


Figure3 : Interface de l'application mobile

V. DISCUSSION

A. Force

a) Un coût de réalisation faible

Pour la réalisation de notre station, les composants essentiels étant la carte ESP et les capteurs nous ont coûté environ 25 €.

D'après le [site](#) une station météo basique coûte entre 40 € et 50 €.

b) Maintenance facile

Notre station est conçue grâce à des cartes et capteur Arduino qui sont une plateforme simple d'utilisation.

c) Des données accessibles partout et en temps réel.

Les mesures relevées par les capteurs dès qu'ils sont stockées dans la base de données sont consultables à tout moment de la journée depuis un smartphone, une tablette ou un ordinateur, même à distance. Accès aux données en mode offline grâce à Firebase.

d) Accepte l'intégration de nouveaux composants.

L'ajout des nouveaux composants (capteurs) ne nécessite pas de modification majeure.

e) Interaction avec d'autres objets connectés dans la maison.

Comme toute Station Météo Connectée, notre station peut aussi s'intégrer dans une installation domotique existante. Cela ouvre des possibilités de scénarios comme l'interaction avec des fenêtres électriques qui s'ouvrent quand la température monte ou que la qualité de l'air intérieur est médiocre...

f) Pas nécessité d'infrastructure supplémentaire

Nous n'avons pas besoin d'acheter des serveurs pour le stockage et la sécurité des données.



g) Multi-usage

Cette station est multi-usage car son utilisation dépend de son utilisateur. Il peut l'installer dans la maison ou même dans son jardin.

B. Faiblesse**a) Décalage au niveau de l'envoi des informations récupérées par les capteurs dans Firebase.**

Les cartes Arduino sont programmées en langage C (C++) qui s'exécute de manière séquentielle de plus dans le programme nous utilisons des temporisations pour donner le temps à la carte de lire chaque capteur.

b) Station locale donc limitée en termes de zone couverte.

La zone de couverture est limitée à quelques mètres.

c) Connexion internet nécessaire.

Le stockage étant assuré par Firebase qui est un ensemble de services d'hébergement en ligne donc internet est nécessaire pour le stockage des données.

d) Alimentation non autonome**VI. CONCLUSION**

Ce projet présente une technologie plus moderne et innovante dans le domaine météorologique écologique à moindre coût, et permet aux utilisateurs d'avoir une météo personnalisée plus efficace. Mais il présente certaines faiblesses. Nous pouvons donc proposer des perspectives suivantes pour palier à certaines faiblesses de ce projet :

- ✓ Concevoir un système d'alimentation autonome.
- ✓ Utiliser le module GSM pour envoyer les données.

- ✓ Créer des alertes personnalisées en cas de relevés météo particuliers.
- ✓ Changer de langage de programmation en NodeJS.

REFERENCES

[1] library.wmo.int, 2014 "guide des instruments et des méthodes d'observation météorologiques," chapitre OMM-N 8 ANNEXE 1.B Classification de sites pour les stations terrestres d'observation.

[2] SLG Instruments S.A.R.L. "Stations météo automatiques professionnelles" pp5et6 www.slg-instruments.com

[3] Station météorologique automatique [Online]. Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Station_m%C3%A9t%C3%A9orologique_automatique [Consulté en Juin 2019].

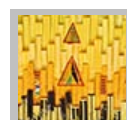
[4] CIRAD (février 2012) "Un rapport de l'Observatoire des Agricultures du Monde" p.12

[5] Pierre GRÉGOIRE et Michel LEROY "Technique de l'ingénieur, Mesure en météorologie" référence, 42540210-r3050.

[6] Vincent Luyet, Henri Bossert et al "station météo" p.3

[7] D. Placko et al. "Mesure et Instrumentation – Du composant élémentaire au système", vol.2, Editions Hermès, 2000, pp.264-280.

[9] J.M. Favennec, « Smart sensors in industry », J. Phys. E. : Sci. Instrum., 20, 1987, pp. 1087



Stratégies locales d'adaptation aux effets des Changements Climatiques (CC) : cas des producteurs de la Commune Rurale de Madiama, région de Mopti au Mali

KEITA Moussa^{1*}, DEMBELE Urbain¹, N'DIAYE Brehima², TIMBELY Dommo¹, BENGALY M'Piè¹, TRAORE Ouleymatou¹, TABOURE Boubacar³, KONE Abdoul Kader¹ et COULIBALY Dounanké¹

¹Institut d'Economie Rurale, Bamako

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

Technologiques de Bamako, Mali

³Centre National des Ressources de l'Education Non Formelle, Bamako, Mali

*Auteur correspondant : moussakeita59@yahoo.fr

RESUME : Le présent article vise à documenter les stratégies locales d'adaptation aux effets des Changements Climatiques développées par les producteurs dans le delta intérieur du Niger au Mali. L'étude a été conduite auprès de 120 producteurs dans quatre villages à raison de trente producteurs par village choisis par tirage au sort. L'approche méthodologique a été basée sur la combinaison d'outils qualitatifs et quantitatifs intégrant les discussions de focus groupe, d'enquêtes individuelles et d'observations participantes. Les producteurs ont développé individuellement ou collectivement des stratégies d'adaptation. Les stratégies collectives ont consisté en des prières et à la réalisation de sacrifices pour demander la clémence divine. Les stratégies individuelles ont porté sur l'utilisation des semences précoces, l'apport de fumure organo-minérale, la constitution de stocks de fourrages, la pratique de la transhumance, le déstockage du cheptel, la mise en défens des mares et la pratique de la régénération naturelle assistée de même que l'initiation des campagnes de reboisement au niveau des sites de dégradation du couvert ligneux avec des espèces forestières et fourragères. La combinaison de ces pratiques a favorisé une amélioration de la production agricole, du disponible fourrager et de la protection de l'environnement. Ces résultats peuvent servir de base dans la proposition de stratégies de résiliences plus efficaces des populations locales dans l'adaptation aux effets des changements climatiques par les décideurs.

Mots clés : Adaptation, changements climatiques, stratégies locales, Delta intérieur, Producteurs, Mali.

I. INTRODUCTION

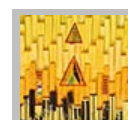
L'Afrique est l'un des continents les plus vulnérables à la variabilité et aux changements du climat. Cette vulnérabilité de l'Afrique face aux effets des changements climatiques est due en grande partie à sa forte dépendance à l'agriculture pluviale. Dans un contexte particulier, l'Afrique subsaharienne apparaît davantage exposée car les systèmes agropastoraux sahéliens sont de plus en plus fragiles à cause des phénomènes liés aux changements des conditions socio-économiques et environnementales qui affectent toute la région (Keita M., 2012). Les chocs récurrents et les contraintes résultant du changement des températures et des régimes pluviométriques affectent la sécurité alimentaire et les moyens de subsistance dans le Sahel, avec des conséquences pour la santé, les ressources naturelles de base et la sécurité humaine.

D'un pays à un autre, les effets des changements climatiques sont variables car les vulnérabilités politiques, économiques et sociales sont différentes. La capacité des populations à s'adapter face à cette nouvelle situation, dépend en grande partie des stratégies de conciliation de leurs intérêts et besoins avec les ressources disponibles. Ce qui justifie le

besoin de développer davantage les recherches sur les stratégies locales d'adaptation aux changements climatiques en raison notamment de la multiplicité des vulnérabilités comme les crises politiques, la dégradation des écosystèmes et des ressources naturelles et la fragilité des économies.

Les variabilités climatiques et leurs conséquences socio-environnementales sont encore plus perceptibles à l'échelle locale (Paturel *et al.*, 1995 ; Smit, Skinner, 2002 ; Rabourdin, 2005 ; Vodounou *et al.*, 2016). Elles ont un impact direct sur la production agricole, puisque les systèmes agricoles dépendent en partie de la nature du climat (Boko *et al.*, 2007 ; Mertz *et al.*, 2009 ; Vodounou *et al.*, 2016). Ces impacts sont particulièrement importants dans les pays en développement où l'agriculture, habituellement pluviale avec des alternatives d'irrigation encore faibles, constitue la principale source d'emplois et de revenus pour la majorité de la population (Delille, 2011 ; Enete, Onyekuru, 2011 ; Agossou, 2012 ; Vodounou *et al.*, 2016).

Dans ce contexte sous régional, les changements climatiques représentent pour le Mali un très grand défi. Ils touchent et menacent déjà des secteurs clefs pour le développement du pays : l'eau, l'agriculture, l'élevage, la pêche, les forêts et la santé. Le devenir



du Mali et des politiques qu'il met en œuvre pour sortir le pays du sous-développement reste tributaire de sa capacité à faire face à ce nouveau défi et à utiliser les possibilités qu'il offre quant à l'accès à des technologies propres et durables (MEA, 2011). L'accompagnement des populations locales dans l'adaptation aux effets des changements climatiques nécessite une bonne compréhension des stratégies locales développées pour leur prise en compte en vue de la proposition de stratégies plus efficaces. C'est pourquoi, de plus en plus de travaux de recherche sont initiés sur les changements climatiques au Mali (Diarra et al., 2006 ; Sanogo et al., 2016 ; Ballo et al., 2017 ; Keita et al., 2019).

Selon Diarra et al., (2006), le changement climatique est une réalité qui est perçue comme étant le résultat de l'ensemble des variations des caractéristiques climatiques en un endroit donné au cours du temps. Dans une étude récente, Kéita et al., 2019 ont mis en évidence les perceptions des producteurs sur les changements climatiques dans la commune rurale de Madiama au Mali. Ces travaux ont montré que les principales manifestations climatiques dans cette zone du delta intérieur du Niger sont la baisse de la pluviométrie (29 %), la baisse de la production agricole (28 %), la prolifération des maladies comme le paludisme et les diarrhées (18 %), les perturbations climatiques notamment les vents violents et les fortes chaleurs (7 %). Selon les producteurs, les changements climatiques ont engendré des impacts sur les ressources naturelles notamment la dégradation du sol, la diminution des ressources végétales et hydriques ainsi que les systèmes de production qui ont occasionné des pertes de rendements. Ces pertes de production ont été beaucoup plus importantes pour le maïs et les cultures maraichères. Au niveau des espèces animales les pertes ont affecté surtout la volaille et les bovins. Dans le secteur de la pêche, la baisse des captures a été observée au niveau des espèces de poissons *Tilapia sp* (carpes) et *Lates niloticus* (capitaines). Dans le secteur des produits forestiers non ligneux, il a été relevé la baisse de la production fruitière de *Parkia biglobosa* (nééré) et *Vitellaria paradoxa* (karité).

De nos jours, les besoins d'adaptation des populations aux changements climatiques et leurs impacts socio-environnementaux sont indispensables car la survie des populations en dépend (OCDE, 2009). Les pratiques d'adaptation développées par les producteurs en réponse aux conséquences négatives des changements climatiques dépendent de la perception et des connaissances endogènes qu'ils ont de ces changements (Dimon, 2008).

Dans le contexte actuel de décentralisation et d'autogestion à la base, l'échelle locale est considérée comme l'espace géographique et socio-économique pertinent pour mener les politiques de développement participatif. Par ailleurs, les études

menées à grande échelle cachent souvent des disparités nettes entre les zones (Ali, 2010). Dès lors, l'étude de la concordance des perceptions des populations rurales sur les changements climatiques au regard des tendances climatiques observées, menée sur une échelle réduite, peut contribuer à mieux orienter les stratégies spécifiques d'adaptation (Allé et al., 2013).

Cependant, il existe très peu d'informations sur les stratégies locales des producteurs, leurs réponses aux manifestations climatiques et les effets de celles-ci sur les ressources naturelles au niveau local. Il devient alors essentiel de renforcer cette compréhension des processus actuels principalement ceux relatifs au climat qui augmentent la vulnérabilité et la résilience des producteurs dans le Sahel pour concevoir des programmes efficaces qui tiennent compte de ces aspects.

La présente étude vise alors à analyser les stratégies locales d'adaptation développées par les producteurs face aux effets des changements climatiques dans la commune rurale de Madiama.

II. MATERIEL ET METHODES

2.1. Zone d'étude

L'étude a été réalisée dans la commune rurale de Madiama située à environ 25 Km de Djenné et à 120 Km de Mopti. Cette commune fait partie de l'hydrosystème du delta intérieur du Niger et couvre une superficie totale d'environ 16 970 ha (Badini et al., 2001). Dans la zone inondée, il y a trente ans, la commune rurale de Madiama s'est retrouvée dans la zone intermédiaire à cause des sécheresses persistantes. La commune rurale de Madiama compte dix villages (Cartel). Sa population est estimée à 12 406 habitants (RGPH, 2009).

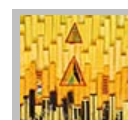
Selon (Assarki, 2000), le relief de Madiama est relativement plat à l'exception de quelques faibles dépressions.

Les types de sol rencontrés sont :

- les sols argilo sableux qui occupent une grande partie du terroir. Ils se prêtent bien à la culture céréalière sèche et à d'autres cultures telles que la pastèque, le soja ;
- les sols argileux qui se composent de sol gravillonnaire et de sol noir-brun hydromorphe ou inondé. Sur les sols gravillonnaires, on rencontre quelques maigres pâturages tandis que les sols hydromorphes se prêtent plus à la culture du sorgho et du riz de bas-fond.

Le climat est de type sahélien avec deux grandes saisons :

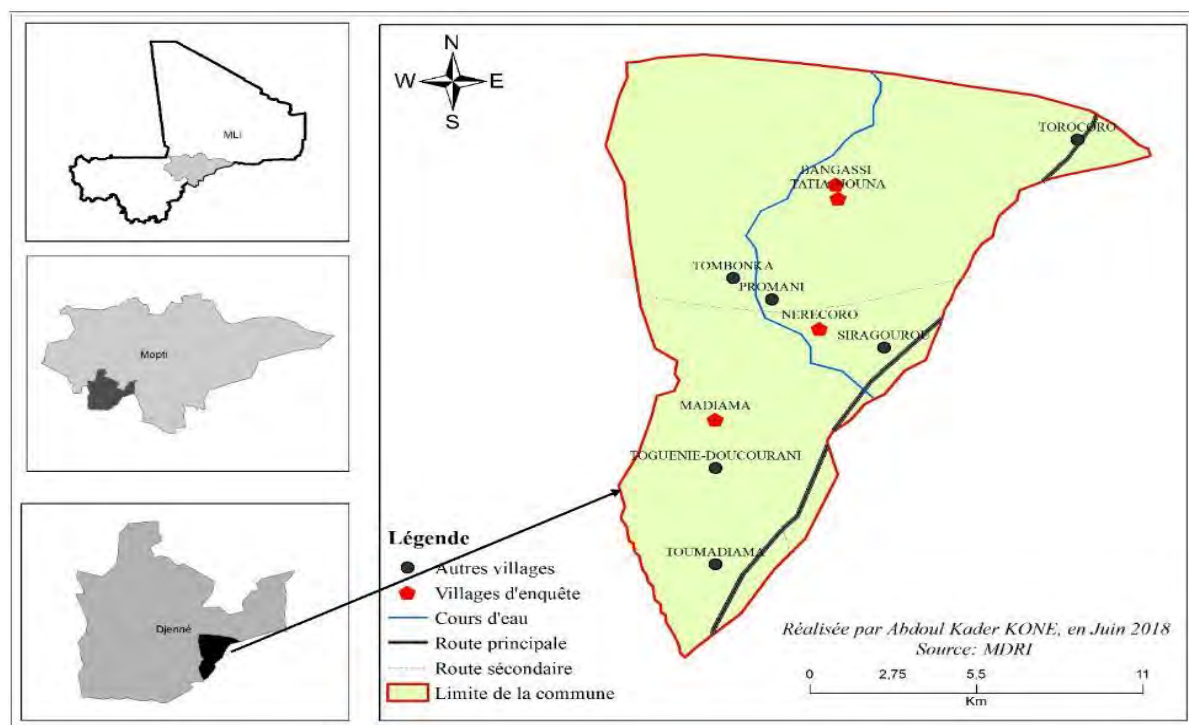
- une saison sèche s'étalant de novembre à mai qui se caractérise par de fortes chaleurs et des températures très élevées pouvant atteindre parfois 45°C. Cette saison se subdivise en une saison sèche froide (de novembre à février) et une saison sèche chaude (de mars à mai) ;
- une saison pluvieuse allant de juin à octobre se caractérisant par une répartition irrégulière des



pluies. La pluviométrie moyenne annuelle enregistrée est de 543,7 mm. L'harmattan et la mousson constituent les vents dominants.

Le choix de la commune rurale de Madiama est justifié par le fait que l'équipe de recherche y avait précédemment conduit une étude sur les perceptions des producteurs sur les changements climatiques.

Sur les dix (10) villages que compte la commune, le choix des villages d'étude a été basé sur une représentativité en retenant deux (2) villages dans la zone exondée (Madiama et Nérékoro) et deux (2) dans la zone inondée (Bangassi et Tatia-Nouna).



Carte 1 : Localisation des villages d'étude

2.2. Collecte et analyse des données

L'approche méthodologique adoptée a été basée sur la collecte de données quantitatives et qualitatives. Elle a intégré les discussions de groupes, les interviews semi-structurées individuelles formelles et les observations participantes pour une triangulation des données. La collecte des données qualitatives a été réalisée à travers la constitution d'un focus groupe de cinq personnes ressources âgées de 60 à 65 ans par village suivant leur connaissance du terroir pour la réalisation de la carte du terroir et d'un transect d'Est en Ouest. Pour la collecte des données quantitatives, le questionnaire administré individuellement s'articulait autour des stratégies d'adaptation développées par les producteurs pour faire face aux effets des changements climatiques dans la commune rurale de Madiama.

L'étude a été conduite auprès de cent vingt (120) producteurs dans les quatre (4) villages d'étude à raison de trente (30) par village. Le choix des producteurs a tenu compte du genre afin de prendre en compte les spécificités des différents groupes d'acteurs investigués par village. La collecte des données s'est déroulée durant deux mois en 2012.

Les données obtenues après les enquêtes ont été dépouillées, vérifiées, enregistrées, codifiées et analysées avec les logiciels SPSS (Statistical Package for Social Sciences) version 20 et Microsoft EXCEL par les indicateurs de la statistique descriptive (fréquence, moyenne, pourcentage, etc.).

III. RESULTATS

3.1 Caractéristiques socioprofessionnelles des acteurs

Quatre catégories de producteurs ont été investigués dans les sites d'étude avec une prédominance de trois catégories. Le groupe des maraîchers a été spécifiquement identifié dans le village de Bangassi en zone inondée (tableau 1). Les femmes ont représenté 37,5 % des acteurs investigués, avec une grande présence dans la catégorie des éleveurs et ont constitué 100 % du groupe des maraîchers.

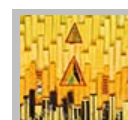


Tableau 1 : Nombre de producteurs par sexe et par groupe socioprofessionnel

Zone d'étude	Villages	Agriculteurs		Agropasteurs		Eleveurs		Maraîchers		Total	
		F	H	F	H	F	H	F	H	F	H
Exondée	Madiama	0	10	0	10	10	0	0	0	10	20
	Nérékoro	4	6	0	10	6	4	0	0	10	20
Inondée	Bangassi	0	10	0	5	5	0	10	0	15	15
	Tatia-Nouna	6	4	0	10	4	6	0	0	10	20
Total		10	30	0	35	25	10	10	0	45	75

Légende : F=femmes ; H=hommes

3.2 Stratégies d'adaptation développées et leurs effets

Face aux effets des changements climatiques, les producteurs de la commune de Madiama ont développé des stratégies d'adaptation à travers des initiatives, soit individuelles, soit collectives.

3.2.1 Stratégies d'adaptation développées dans le domaine agricole

Le tableau 2 présente les stratégies d'adaptation développées par les différents acteurs dans le

domaine agricole. Les stratégies individuelles développées comprennent l'utilisation de semences précoces (32 %) pour s'adapter à la diminution de la saison des pluies, l'apport de fumure organo-minérale (13 %) pour combler la baisse de la fertilité des sols, le respect du calendrier agricole avec des entretiens réguliers des cultures (8 %). Quant aux stratégies collectives, elles portent sur le recours aux prières et la réalisation de sacrifices pour demander la clémence des divinités.

Tableau 2 : Stratégies développées pour l'agriculture

Stratégies pour l'agriculture	Taux de réponse (%)
Apport de fumure organo-minérale	13
Augmentation de la superficie des champs et du nombre de sarclages	12
Diversification des cultures (association des cultures)	3
Faire des prières et des sacrifices	17
Intégration agriculture-élevage (parcage des animaux dans les champs)	6
Réduction de la densité de semis	1
Réduire la taille du champ	8
Respect du calendrier agricole et entretiens réguliers des cultures	8
Utilisation de semences précoces	32
Achat de vivres pour combler la baisse de production	2
Total	100

3.2.2 Effets des stratégies locales sur la production agricole

Les stratégies locales adoptées par rapport à l'agriculture ont eu des effets positifs. Il s'agit notamment de l'utilisation de semences précoces et de la fumure organo-minérale. Les personnes enquêtées ont reconnu à 99 % les effets bénéfiques de leurs stratégies sur les rendements des cultures (Tableau 3).

Tableau 3 : Effet des stratégies locales sur la production agricole

Effet des stratégies locales sur la production agricole	Taux de réponse (%)
Amélioration de la production	99
Baisse de la production	1
Total	100

3.2.3 Stratégies d'adaptation développées dans le domaine de l'élevage

Dans le secteur de l'élevage, les stratégies développées portent sur la constitution de stocks de fourrages (34 %), de la pratique de la transhumance (28 %) à la réduction de la taille du troupeau (25 %) (Tableau 4).

Tableau 4 : Stratégies développées pour l'élevage

Stratégies pour l'élevage	Taux de réponse (%)
Aucune stratégie/pas de stratégie	2
Augmenter l'espace pastoral	1
Constituer des stocks de fourrages (bourgou et fanes)	34



Réduire la pression pastorale par la rotation	1
Faire des prières et sacrifices	1
Pratiquer la transhumance	28
Réduire la taille du troupeau (80-40 %)	25
Utiliser l'aliment bétail pour les bœufs de labour	5
Vacciner le bétail	4
Total	100

3.2.4 Effets des stratégies locales sur la production pastorale

Il faut retenir que les stratégies développées par rapport à l'élevage sont entre autres la constitution de stocks de fourrages ; la pratique de la transhumance ; la réduction de la taille du troupeau ; le recours à des prières et sacrifices, la réduction des déplacements loin des points d'eau. Ces pratiques ont eu le mérite de maintenir la production pastorale à un rythme régulier selon 95 % des enquêtés. Cependant, 5 % des producteurs estiment que ces stratégies n'ont pas eu d'effets sur la production pastorale (tableau 5).

Tableau 5 : Effets des stratégies locales sur la production pastorale

Effets des stratégies locales sur la production pastorale	Taux de réponse(%)
Amélioration du disponible fourrager ligneux et herbacé	81
Augmentation de l'effectif du troupeau	9
Augmentation de la production laitière	5
Pas d'effet	5
Total	100

3.2.5 Stratégies développées dans le secteur de la pêche

La principale stratégie développée dans le secteur de la pêche est la mise en défens des mares (41 %) durant une certaine période afin de reconstituer le stock des espèces aquacoles (tableau 6). Cependant, près de 51 % des producteurs sont restés fatalistes dans ce domaine.

Tableau 6 : Stratégies développées pour la pêche

Stratégies pour la pêche	Taux de réponse (%)
Aucune stratégie/pas de stratégie	51
Achat de poissons	2
Faire des prières	1
Faire la pisciculture	3
Mise en défens des mares	41

Réglementer les engins de pêche	3
Total	100

3.2.6 Effets des stratégies développées sur la production piscicole

S'agissant de la production piscicole, 76 % de l'ensemble des paysans estiment que les stratégies développées n'ont pas eu d'effet contre 23 % qui trouvent qu'il y a eu une légère augmentation de la quantité de poissons (tableau 7).

Tableau 7 : Effets des stratégies locales sur la production piscicole

Effet des stratégies locales sur la production piscicole	Taux de réponse (%)
Légère augmentation de la quantité de poissons	23
Pauvreté monétaire	1
Pas d'effet	76
Total	100

3.2.7 Stratégies d'adaptation développées dans le domaine de l'environnement et de la biodiversité

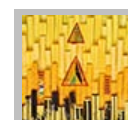
La fatalité est dominante dans le domaine de l'environnement et de la biodiversité car 35 % des producteurs n'ont pu trouver des alternatives en réponse à cette contrainte. Les principales stratégies développées dans ce domaine ont porté sur la protection des arbres champêtres (24 %) et la pratique de la régénération naturelle assistée (22 %) (Tableau 8).

Tableau 8: Stratégies développées pour l'environnement et la biodiversité

Stratégies pour l'environnement et la biodiversité	Taux de réponse (%)
Aucune stratégie/pas de stratégie	35
Rationaliser l'exploitation des ressources	6
Faire des bénédictions et des sacrifices	8
Interdire la coupe des espèces menacées et des feux de brousse	4
Mettre en place un comité de surveillance	2
Protéger les arbres champêtres	24
Pratiquer la régénération assistée	22
Total	100

3.2.8 Effets des stratégies sur la production environnementale et la biodiversité

Le tableau 9 fait ressortir les effets des stratégies locales (la protection des arbres champêtres, la régénération naturelle assistée, la rationalisation de l'exploitation et la mise en place d'un comité de surveillance) sur la production environnementale et



la biodiversité qui selon 60 % des paysans ont amélioré le couvert végétal contre 40 % qui estiment qu'il n'y a pas eu d'effet.

Tableau 9 : Effet des stratégies locales sur la production environnementale et la biodiversité

Effet des stratégies locales sur la production environnementale	Taux de réponse (%)
Amélioration du couvert végétal	54
Augmentation de la densité des arbres champêtres	6
Pas d'effet	40
Total	100

IV.DISCUSION

4.1 Stratégies d'adaptation développées dans le domaine de l'agriculture

L'évolution du climat est une réalité ressentie par les producteurs de Madiama. Cette évolution se traduit en particulier par une augmentation de la sécheresse et du caractère aléatoire des cycles saisonniers, avec de forts impacts sur les exploitations en termes de rendement, et parfois des conséquences directes sur les moyens de production (Dugué et al., 2012 ; Keïta et al., 2019).

S'agissant de l'agriculture, la première stratégie d'adaptation spontanée consiste à caler le calendrier cultural sur les conditions climatiques de l'année. En effet, en zone intertropicale, les dates de semis sont en général déterminées par le début des pluies. Si celui-ci est retardé, plusieurs réponses peuvent intervenir pour tenter de rattraper le retard de plus en plus fréquent des semis (Dugué et al., 2012 ; Keïta et al., 2019). L'utilisation de semences précoces et de la fumure organo-minérale est un moyen de lutte contre les effets des changements climatiques sur la production agricole. En effet, les producteurs considèrent souvent les variétés plus précoces comme une bonne réponse au retard des pluies. Toutefois, ces variétés sont fréquemment moins productives et/ou plus exigeantes en qualité du sol. Elles disposent de peu de temps pour produire une certaine quantité de matière sèche. Par ailleurs, arrivant à maturité avant les variétés traditionnelles, elles sont également très vulnérables aux attaques aviaires surtout les céréales comme le riz, le maïs, etc. (Vodounou et al., 2016). Selon Dugué et al., (2012), certains producteurs de Madagascar et du Sahel, face au risque élevé de retard des premières pluies, choisissent de pratiquer un semis en sec afin de gagner du temps au démarrage de la culture. Ceux-ci s'exposent toutefois au risque de perdre la semence en cas de première pluie isolée et insuffisante.

4.2 Stratégies d'adaptation développées dans le domaine de l'élevage

S'agissant de l'élevage, la transhumance des éleveurs, qui a été évoquée par 28 % est une stratégie de survie des populations rurales en période de sécheresse prolongée. C'est un déplacement saisonnier des troupeaux accompagnés de quelques personnes (bergers), avec retour au campement à une certaine période (Agouze, 2000 ; Dugué et al., 2012). C'est aussi un moyen de valorisation des ressources fourragères dans les régions sèches où la pluviométrie est inférieure à 400 mm. Dans les régions deltaïques, les éleveurs passent 4 à 5 mois (mai-juin à septembre) sur les pâturages exondés régénérés par les pluies dans une transhumance forcée par l'immersion des plaines (Adesir-Schilling, 1999). A cela, il faut ajouter la constitution de stocks (foin au Sénégal et au Burkina, ensilage à San Dionisio) et l'utilisation d'aliments concentrés en période de disette fourragère, comme cela a été fait à Tombouctou, en 1984-85 (Dugué et al., 2012). La majorité (99 %) des producteurs ont reconnu les effets bénéfiques de leurs stratégies sur les rendements des cultures. Ces pratiques ont le mérite de maintenir la production pastorale à un rythme régulier selon 95 % des producteurs.

4.3 Stratégies d'adaptation développées dans le domaine de la pêche

L'une des conséquences des changements climatiques évoquée par les acteurs est la chute de la production halieutique. Les raisons profondes de l'échec des stratégies des pêcheurs peuvent se situer en amont de leurs actions car de fortes pressions sont exercées sur les mares qui constituent les lieux de reproduction, ceci a pour conséquence la perturbation et la destruction des alevins par l'utilisation de toute sorte d'engins de pêche. Cette diminution qualitative et quantitative des poissons a poussé les pêcheurs à adapter les engins et les méthodes de pêche mais aussi à adopter la pisciculture.

4.4. Stratégies d'adaptation développées dans le domaine de l'environnement et de la biodiversité
D'après Zombré (2003) et Abba et al., (2006), la durabilité des systèmes de production dans les pays sahéliens ne peut être une réalité sans la présence des arbres dans les écosystèmes, eu égard à leur dynamique multifonctionnelle. A ce niveau, il demeure très difficile de faire la part des effets directs de ces mesures dans le court ou le moyen terme.

Selon Gueye (2008) dans un contexte poussé de dégradation des ressources naturelles, les femmes de Popenguine au Sénégal, ont non seulement régénéré la mangrove, mais aussi reboisé une partie de la forêt classée dans le but de lutter contre la désertification et protéger la biodiversité. Cela montre à tel point que la valorisation des ressources forestières contribue à la concrétisation des objectifs tels que la



régénération des terres, la fourniture de bois villageois et enfin la génération de recettes grâce à la vente des perches périodiquement coupées.

V. CONCLUSION

Les travaux ainsi réalisés dans la commune de Madiama ont permis de constater que les pratiques paysannes mises en œuvre pour faire face aux aléas climatiques relèvent de stratégies variées : l'utilisation de semences précoces, le recours aux prières et sacrifices, l'utilisation de fumure organo-minérale, l'accroissement des superficies, la constitution de stocks de fourrages et la pratique de la transhumance.

Ces stratégies d'adaptation paysannes qui relèvent davantage de la réaction aux effets des changements que de la prévention du risque ont permis d'améliorer la production agricole, d'augmenter le disponible fourrager et le couvert végétal.

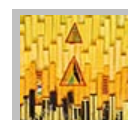
Les stratégies d'adaptation développées par les producteurs pour faire face aux effets des changements climatiques ont eu certes des effets positifs sur la productivité des différentes activités agricoles et pastorales, mais elles connaissent des limites. Pour cela, des efforts de recherche doivent se focaliser sur la mise au point de technologies permettant d'atténuer les effets néfastes des changements climatiques sur les systèmes de production.

REMERCIEMENTS

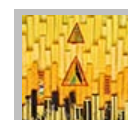
Nous remercions vivement tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de cette étude. De façon spécifique, nous adressons nos sincères remerciements à toutes les populations de la zone d'étude pour le partage de leurs connaissances.

REFERENCES

1. Abba A. A., Hofs J. L., & Mergeai G., 2007, Relever les défis environnementaux pour les filières cotonnières d'Afrique de l'Ouest et du Centre. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 10(3): 351-359.
2. Adésir M. Schilling, 1999, « *L'herbe, le poisson et le riz* ». *Transformations des paysages et dynamiques paysannes dans le Kotia* (Delta Central du Niger, Mali). Thèse de doctorat d'université Paris 1. Panthéon Sorbonne. UER de Géographie – France. 560 pages.
3. Agossou D.S.M., Tossou C.R., Vissoh V.P., Agbossou K.E., 2012, "Perception des perturbations climatiques, savoirs locaux et Stratégies d'adaptation des producteurs agricoles béninois", *African Crop Science Journal*, 20, 565 - 588.
4. Agouze KOA, 2000, *Elaboration d'un modèle informatisé de gestion des Pâturages tropicaux*. Université de Liège, Faculté de Médecine Vétérinaire, Service de Nutrition. Mémoire de D.E.S. 43 p.
5. Alle, U.Y., Vissoh, V.P., Guibert, H., Agbossou, E.K et Afouda, A.A., (2013), Relation entre perceptions paysannes de la variabilité climatique et observations climatiques au Sud-Bénin. *Vertigo*, 13: DOI: 10.4000/vertigo.14361.
6. Ali, A. (2010), Variabilité et changements du climat au Sahel : ce que l'observation nous apprend sur la situation actuelle. *Grain de sel*, 49: 13-14.
7. Assarki Handédéou 2000. La gestion pastorale : Evaluation du potentiel fourrager de la commune Rurale de Madiama. Mémoire de fin d'études, IPR, 27 p.
8. Badini Oumarou et al., 2001, *Etude morphopédologique de la commune de Madiama*. Cercle de Djenné. Working paper n°01-04, SANREM-CRSP/OIRD. Virginia Tech, 59 p.
9. Boko M., Niang I., Nyong A., Vogel C., Githeko A., Medany M., Osman-Elasha B., Tabo R. and Yanda P., 2007: Africa. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", in Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Van Der Linden, P.J. and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge UK, 433-467. 36 pages.
10. Diarra B., 2006, *Elaboration de stratégies d'adaptation des ressources en eau aux changements climatiques*. Bamako, 2007. 61 pages.
11. Dimon, R., 2008, Adaptation aux changements climatiques : perceptions, savoirs locaux et stratégies d'adaptation des producteurs agricoles des communes de Kandi et de Banikoara au Nord du Bénin. Thèse d'ingénieur agronome, FSA-UAC, 132 p.
12. Dugué M-J., Delille H., Malgrange S., 2012, "Caractérisation des stratégies d'adaptation au changement climatique en agriculture paysanne : Etude de capitalisation réalisée sur les terrains de coopération d'AVSF", *Agronomes et Vétérinaires sans frontières*, Lyon, France, 1-50.
13. Enete A. A. & Onyekuru A.N., 2011, "Challenges of Agricultural Adaptation to Climate Change: Empirical Evidence from Southeast Nigeria", *Tropicultura*, No.29, 243-249.
14. Fofana M., 1997, *Pratiques d'utilisation des ressources naturelles au Sahel : Etat des lieux au Mali*. Institut du Sahel. Les monographies sahéliennes 5 CILSS. AGROSOC/GRN. Pp 30-43.



15. Gueye Y. D., 2008, *Genre, changements climatiques et sécurité humaine : Le cas du Sénégal*. Programme-Energie, ENDA. 22 pages.
16. Fonds International de Développement Agricole (FIDA), 2008, *Le FIDA et le changement climatique*. Consultation sur la huitième reconstitution des ressources du FIDA, Rome, Italie, 27 p.
17. Gerber P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., Tempio, G., 2013, Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 139 pages.
18. GIEC, 2007, Changements climatiques. Rapport de synthèse, OMM et PNUE. 114 pages.
19. Gnanglè C.P., Kakaï R.G., Assogbadjo A.E., Vodounnon S., Yabi J.A. et Sokpon N. 2011, *Tendances climatiques passées, modélisation, perceptions et adaptations locales au Bénin*. INRA du Bénin, FSA, UACi, Faculté d'Agronomie, Université de Parakou. Climatologie, vol 8, 14 p.
20. Kanté, A., 2011, Des outils participatifs pour mieux comprendre les liens entre migration et changements climatiques. In Symposium sur les changements climatiques. Panel 3 : le rôle des savoirs locaux et autochtones dans l'enjeu du changement climatique, AfricAdapt (eds.), pp. 3-8 ; www.africa-adapt.net/media/resources/551/Panel%203.pdf : consulté le 15/04/2019.
21. Keita M. 2008, *Les effets du projet d'agriculture durable et gestion des ressources naturelles (SANREM) dans la commune rurale de Madiama*. Cercle de Djenné, Mémoire de Maîtrise en ERD, DELTA-C, Bamako, Mai 2008. Pp 70.
22. Keita M., 2012, *Le changement climatique : Perception et Stratégies d'adaptation des producteurs de la Commune Rurale de Madiama (Cercle de Djenné)*. Mémoire de Master 2, Institut Universitaire de Développement Territorial, Université des Sciences Sociales et de Gestion. Bamako, Décembre 2012. 70 p.
23. Keita M., Timbely D., Dembélé U., Traoré O., N'diaye B., Traoré B., Kodio A., Coulibaly D., Senou O., Touré F. B.; Tabouré B., Bengali M., 2019, *Perception paysanne des changements climatiques dans la commune rurale de Madiama, région de Mopti au Mali*. RASP, Vol 18 (1) jan-juin 2019. 138-155.
24. Mahamane A., 2001, *Usages des terres et évolutions végétales dans le département de Maradi*. Working Paper 27, Drylands Research, Royaume-Uni, 43 p.
25. Mertz O., Mbow C., Reenberg A., Diouf A., 2009, "Farmers' perceptions of climate change and agricultural adaptation strategies in rural Sahel", *Environmental Management*, No.43, 8-16. DOI : [10.1007/s00267-008-9197-0](https://doi.org/10.1007/s00267-008-9197-0)
26. Organisation de coopération et de développement économique (OCDE), 2009, *Climate Change and Agriculture: Impacts, Adaptation, Mitigation and Options for the OECD* [COM/TAD/CA/ENV/EPOC (2009)13]; <http://olisweb.oecd.org/>.
27. Ouoba A.P., 2013, *Changements Climatiques, Dynamique de la Végétation et Perception Paysanne dans le Sahel Burkinabé*. Thèse de doctorat unique. Université d'Ouagadougou, Burkina Faso. 305 p.
28. Rabourdin S., 2005, *Changement climatique. Comprendre et agir*, Paris, Delachaux et Niestlé, 268 p.
29. Smit B., and Skinner M.W., 2002, "Adaptations options in agriculture to climate change: A typology. Mitigation and Adaptation", *Strategies for Global Change*, No.7, 85–114.
30. REFADD, 2013, *Stratégie genre en matière de REDD+ et adaptation aux Changements Climatiques en Afrique Centrale*. Réseau Femmes Africaines pour le Développement Durable (REFADD). 41p
31. UICN, 2011, *Rapport synthèse des études de capitalisation des connaissances, pratiques, stratégies et technologies locales d'adaptation au changement climatique au Burkina Faso, Mali et Sénégal*. Version finale. Projet « Intégration de l'adaptation au changement climatique dans les stratégies de réduction de la pauvreté en Afrique de l'Ouest », 22 p.
32. Vodounou J. B. K. et Doubogan Y. O., 2016, « Agriculture paysanne et stratégies d'adaptation au changement climatique au Nord-Bénin », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 794, mis en ligne le 15 novembre 2016, consulté le 21 janvier 2019. URL: <http://journals.openedition.org/cybergeo/27836>; DOI: 10.4000/cybergeo.27836
33. Zombré N.P., 2003, *Les sols très dégradés (Zipela) au centre nord du Burkina Faso : Dynamique, caractéristiques morpho-biopédologiques et impacts des techniques de restaurations*. Thèse de doctorat. Université d'Ouagadougou, Burkina Faso, 146 pp.



Caractérisation des déchets plastiques des décharges de la ville de Bamako : cas du dépôt de Badalabougou

Mamadou Tamboura, Mohamed Lamine Ousseni Diawara, Moussa Tamboura, Adiara Fatoumata Sidibé, Dodo Kayentao et Anna M Mikhailova
 Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako ; Faculté des Sciences et Techniques; Département de Chimie
 Corresponding author's email address: madoutamboura@gmail.com

RESUME : La réduction de la pollution plastique constitue un défi pour tous les pays du monde en particulier dans les pays en voie de développement. La majeure partie de ces plastiques, qui font partie intégrante de notre quotidien, nécessitent des centaines d'années pour se dégrader dans la nature. Afin de valoriser les déchets, la quantité et la nature des plastiques qu'ils contiennent constituent un indicateur de leur réutilisation à l'échelle industrielle. Dans cette étude, nous avons caractérisé la fraction plastique du dépôt d'ordure sur la colline de Badalabougou, une des décharges les plus importantes de la ville de Bamako. L'analyse de 25 kg de déchets a montré qu'ils sont composés de 8,17% de polyoléfines (PO), 7,07% de polystyrène (PS), 2,55% de polyéthylène téréphtalate (PET) et 2,24% de polychlorure de vinyle (PVC) avec de faible quantité de thermdurcissant, d'élastomères, de polyamides, d'acétate de cellulose et de polyacrylate. Ces déchets constituent ainsi des matières premières potentielles pour une réutilisation industrielle.

Mots clés : déchets plastiques, décharges, réutilisation, valorisation des déchets

I. INTRODUCTION

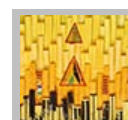
L'utilisation croissante des produits en matières plastiques depuis le XX siècle a engendré une prolifération des sachets contribuant à une pollution dans le monde sans précédent. La majeure partie de ces plastiques, qui font partie intégrante de notre quotidien, nécessitent des centaines d'années pour se dégrader dans la nature. Ces déchets produits polluent l'environnement [1, 2, 3] et peuvent provoquer des inondations [4]. Selon Geyer et al. [5] en 2015 la production mondiale de déchets plastiques a atteint 302 millions de tonnes et si rien n'est fait d'ici 2050, les déchets plastiques générés atteindront 26 milliards de tonnes. Au Mali, la production de déchets solides a été estimée à 0,5 kg/jour/habitant. Ainsi, la production en 2010 a été évaluée à 2.372.500 tonnes [6].

Au Mali, la Loi N°2012-0031 du 23 janvier 2012 et N° 2014-024 du 03 juillet 2014 interdisant la production, l'importation et la commercialisation de sachets plastiques en polyéthylène de basse densité (PEBD) utilisé dans l'emballage de l'eau, des denrées alimentaires ou tout autre produit a été établie. Cette loi est révisée par la Loi N° 2014-024 du 03 juillet 2014 qui considère les sachets plastiques comme tout sac en polyéthylène (PEBD) et en polyéthylène de haute densité (PEHD), servant de contenant pour les denrées alimentaires ou tout autre produit. Cependant, ces lois peinent à être appliquées et ne tiennent pas compte des autres types de plastique.

De plus, des projets de récolte ont été initiés tels que « opération Bamako sans déchets plastiques »

dans la commune VI en Juin 2019, la start-up SANUVA (Sanuya et Valorisation des déchets) en Février 2018. En plus de ses mesures, au niveau des différents dépôts de transit, des agents locaux effectuent un tri et retire certains plastiques telles que les bouteilles en polyéthylène téréphtalate (PET) et des sachets plastiques (sachets d'eau). D'une part, les bouteilles en PET récupérées sont lavées et réutilisées pour la vente des jus artisanaux, ce qui pourrait être une source potentielle de danger sanitaire. D'autre part les sachets plastiques sont réutilisés pour la production de gaines isolantes et des bâches par certaines entreprises telles que MAMA Plastico S.I.G.M.A. Malgré cela, les plastiques jugés abimés et non récupérables ne sont pas récupérés. Ainsi, il convient donc de chercher des alternatives de traitement et de réutilisation de ces déchets plastiques.

De nombreuses techniques de valorisation des déchets plastiques existent de par le monde. Ces techniques sont pour la plus part centrées sur l'incorporation de déchets plastiques dans les matériaux de construction [7, 8, 9], la production de carburant [10, 11], l'amélioration des propriétés géotechniques des sols [12, 13]. Ces méthodes nécessitent des tris puisque certains plastiques en fusion (PVC, les polymères fluorés, etc.) dégagent des gaz toxiques. Au Mali, les acteurs qui utilisent les déchets plastiques dans les matériaux de construction n'effectuent pas un tri approprié et une sélection conséquente de ces déchets, alors que la nature et la fraction présente de ces matériaux déterminent la qualité des produits finis [14]. Il est donc indispensable de sensibiliser les acteurs de ce



domaine et de proposer des méthodes plus fiables et moins toxiques. C'est dans cette optique que s'inscrit cette étude qui a pour objectif la caractérisation de la fraction plastique des déchets du dépôt de transit située sur la colline de Badalabougou.

II. MATERIEL ET METHODES

2.1 Matériel et produits

Le matériel utilisé dans ce travail comprend de la verrerie, du papier pH, un bec Bunsen pour la pyrolyse et la combustion, des pinces (métalliques et en bois). Le fil de cuivre a été utilisé pour les tests de chauffage et de combustion. L'acétone a été utilisé pour le test de dissolution dans la caractérisation du polystyrène.

2.2 Plan d'échantillonnage

La superficie du dépôt a été estimée à environ **27 070 m²** sur **255 m** de long et **112 m** de large pour une hauteur de **25 m** environ. L'échantillonnage s'est déroulé comme suit :

- Le prélèvement a été réalisé sur cinq (5) points ;
- Chaque prélèvement pèse 5 Kg environ ;
- Les coordonnées géographiques de chaque point ont été répertoriées ;
- Les échantillons seront triés sur place afin de séparer les plastiques des autres matériaux ;
- Les échantillons ont ensuite été mis dans des sacs et transportés à la FST pour le nettoyage et les analyses ;

2.3 Nettoyage et stockage

- Après collecte, les déchets sont lavés à l'eau de robinet ;
- Ensuite la fraction plastique est pesée pour déterminer la part des plastiques avant d'être mis dans des sacs pour le stockage ;

2.4 Méthodologie d'identification des plastiques

Les tests simples décrits ci-dessous (figure 1) permettent de caractériser certains matériaux polymères. Ces tests doivent être effectués sous la hotte aspirante ou en extérieur (éventualité de dégagements de gaz toxiques). On ne procède au test suivant que si la réponse sur la nature du plastique n'a été déterminée par le premier. Dans le cas de copolymères ou de polymères contenant des armatures, leur identification nécessite des méthodes poussées (spectroscopie, microscopie, etc.).

2.5 Test de déformation

Les plastiques sont classés en trois catégories : thermoplastiques, thermodurcissables et élastomères.

Les élastomères sont capables de s'étirer fortement et de revenir à leur forme d'origine après quelques

secondes. Ainsi lorsque le polymère étiré revient à son état, le test est donc positif.

2.6 Test de chauffage

Légèrement chauffés, les thermodurcissables restent rigides, et les thermoplastiques se ramollissent ou fondent. Le test est donc positif si l'échantillon se ramollisse au contact de l'agitateur en verre chauffé.

2.7 Test de densité

Nettement moins denses que les métaux, les plastiques ont des densités relatives à l'eau allant de 0,9 à 1,4. Ce test n'est pas valable pour les plastiques armés (contenant une armature) ou contenant de l'air (mousse, polystyrène expansé, fibre aérées). L'échantillon est du polyoléfine lorsque sa densité est inférieure à celle de l'eau (l'échantillon flotte dans l'eau).

2.8 Test de Belstein

Ce test est utilisé pour mettre en évidence la présence de l'élément chlore dans un plastique. Le test est positif lorsque l'échantillon brûle en dégageant une flamme verte.

2.9 Test du solvant

Réalisé avec l'acétone, lorsque le polymère se dissout dans le tube à essai alors le test est positif au polystyrène.

2.10 Test du papier pH et test de pyrolyse

Utilisé pour mettre en évidence le polyamide, le test est positif lorsque le papier pH montre une coloration dans le domaine des pH basiques. Dans le cas de pH acide, la matière plastique est du PVC.

2.11 Test de combustion

La combustion des plastiques produit toujours du dioxyde de carbone. Lorsque le plastique brûle avec dégagement de fumé, la matière plastique est de l'acétate de cellulose. Dans le cas d'une combustion sans dégagement de fumée c'est du polyacrylate.

2.12 Partie expérimentale

- Environ 5 Kg de déchets ont été prélevés à différents points ;
- Un premier tri a été réalisé sur place à côté de la décharge pour ne prendre que les plastiques afin de faciliter l'étape suivante qui est le lavage ;
- Les plastiques triés ont été lavés à l'eau de robinet pour les débarrasser des particules de terre, de métaux et de reste d'aliment ;
- Les déchets plastiques ont ensuite été séchés à l'air libre puis stockés dans des sacs.

Les coordonnées géographiques des cinq points de prélèvement sont données dans le tableau 1.





Figure 1 : photographie du dépôt de transit de Badaboulougou et des points d'échantillonnage (Googlemaps)

Tableau 1 : Coordonnées géographiques et poids des échantillons avant lavage

E1		
Latitude (°)	Longitude (°)	Poids (Kg)
12,60649	-7,99144	4,92
E2		
Latitude (°)	Longitude (°)	Poids (Kg)
12,60687	-7,9916	5,16
E3		
Latitude (°)	Longitude (°)	Poids (Kg)
12,60727	-7,99181	5,08
E4		
Latitude (°)	Longitude (°)	Poids (Kg)
12,707446	-7,99213	5,15
E5		
Latitude (°)	Longitude (°)	Poids (Kg)
12,60742	-7,99180	5,15

III. RESULTATS ET DISCUSSION

L'échantillonnage a permis de collecter cinq échantillons (de E_1 à E_5) de déchets sur le dépôt. Les échantillons ont été lavés, séchés puis stockés dans des sacs. Les résultats obtenus après les tris sont résumés dans le tableau 2.

Tableau 2 : poids des échantillons triés avant et après lavage (av-lavage et ap-lavage) et fractions massiques des échantillons

P (Kg) échantillons			
	av-lavage	ap-Lavage	f_massique
E_1	4,92	1,7	6,68%
E_2	5,16	1,26	4,95%
E_3	5,08	1,19	4,67%
E_4	5,15	0,8	3,14%
E_5	5,15	0,7	2,75%
Total	25,46	5,65	22,19%

Les échantillons ont subi une série de test pour déterminer leur nature. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 3.

Tableau 3 : fractions des différents types de plastiques en fonction du poids total des plastiques ($f_{\text{plastique}}$) et du poids total des échantillons (f_{totale})

$f_{\text{des différents plastiques}}$			
Polymères	P (Kg)	$f_{\text{plastique}}$	f_{totale}
Elastomères	0,16	2,83%	0,63%
Thermoturci	0,04	0,71%	0,16%
PO	2,08	36,81%	8,17%
PVC	0,57	10,09%	2,24%
PS	1,8	31,86%	7,07%
Polyamide	0,03	0,53%	0,12%
A. cellulose	0,06	1,06%	0,24%
Polyacrylique	0,04	0,71%	0,16%
PET	0,65	11,50%	2,55%
Total	5,43	96,11%	21,33%

Les pourcentages de certains polymères sont notamment altérés par les acteurs de tri sur place. Ces personnes collectent les sachets et bouteilles d'eau et les bouteilles de boisson pour les revendre.

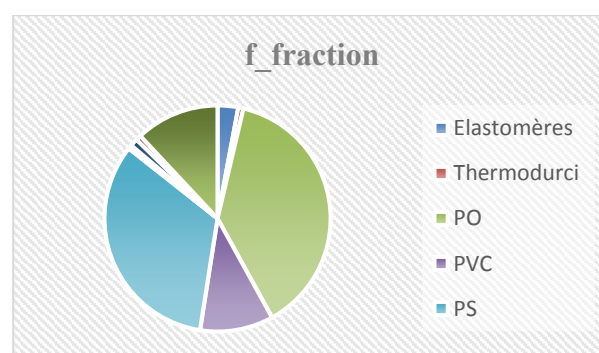


Figure 2 : fraction des plastiques par rapport aux poids total de plastique



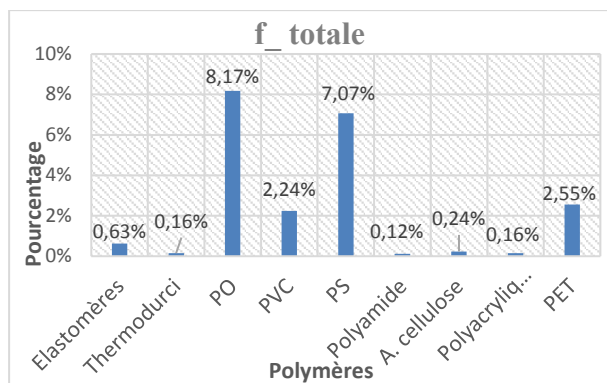


Figure 3 : fraction des plastiques par rapport aux poids total de déchets

La figure 2 montre que les polyoléfinés représentent la fraction massique la plus élevée. Cette forte concentration est due à une utilisation abusive des sachets plastiques pour l'emballage. En deuxième position vient le PS qui sont rencontrés dans les façades de moto 'Jakarta', les coques des appareils électroménagers et les mousses antichocs. Les PET qui constituent aussi une fraction importante sont rencontrés dans les bouteilles d'eau et de boisson. Les PVC sont trouvés dans les tuyauteries, les mèches, les plaquettes de médicaments et les contenants de brosse à dent.

Hormis ces polymères, les élastomères, les thermodurcissants, les polyamides, l'acétate de cellulose et les polyacryliques sont très faiblement présents. Leur faible pourcentage peut être expliqué par leur faible usage. Ces polymères sont rencontrés dans les chambres à air (élastomère), courroies d'automobile (thermodurcissant), manchettes de lunette (polyamide), pellicule de photographie et les peignes à cheveux (acétate de cellulose). Les polyacryliques sont surtout présents dans les peintures tels que le blanc.

Par ailleurs, ces déchets peuvent être utilisés dans la confection de matériaux de construction mais nécessitent un tri préalable. Selon Mohamed et al. [15], on peut incorporer jusqu'à 40% (PET et PEBD) en poids de déchets dans des briques par substitution du ciment. En estimant qu'un sac de 50 Kg de ciment peut confectionner 30 briques, par substitution à 20% avec des polyoléfinés, nous pouvons estimer à environ 10 Kg de polyoléfinés pour 30 briques.

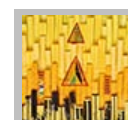
IV. CONCLUSION

L'objectif de cette étude était de caractériser les matières plastiques du dépôt de transit de la colline de Badalabougou. Pour cela des méthodes simples furent utilisées. Les résultats ont montré 8,17% de polyoléfinés (PO), 7,07% de polystyrène (PS), 2,55% de polyéthylène téréphtalate (PET) et 2,24% de polychlorure de vinyle (PVC) avec de faible quantité de thermodurcissant, d'élastomères, de polyamides, d'acétate de cellulose et de polyacrylate.

Ces résultats montrent que pour valoriser les déchets plastiques, une sélection par des méthodes d'analyse est donc nécessaire. En effet si la fusion de PO, PS et PET est moins dangereuse, les PVC, polyamides dégagent cependant des gaz toxiques et doivent être manipulés dans des environnements contrôlés.

REFERENCES

- [1] Kaushal Kishor Sahoo, Mohanish Gupta, Ravi Sahu, Kshitij Mudgal et Y. Shiva Shankar, «Experimental Investigation for the Feasible Applications of Processed Recyclable Plastic Waste in Construction Sector,» *Advances in Waste Management*, pp. 155-169, 2019.
- [2] Boudlal Omar, Kechemir Anissa et Khattaoui Mohammed, «Valorisation d'un mélange de schiste et de déchets plastiques dans la construction routière,» *AJCE*, vol. 36, n° 11, pp. 637-640, 2018.
- [3] Marius Chanhoun, Semiyoun Padonou, Edmond Codjo Adjovi, Emmanuel Olobo et Valerie Doko, «Study of the implementation of waste wood, plastics and polystyrenes for various applications in the building industry,» *Construction and Building Materials*, vol. 167, pp. 936-941, 2018.
- [4] Isaac I. Akinwumi, Ayebaemi H. Domo-Spiff et Adeniyi Salami, «Marine plastic pollution and affordable housing challenge: Shredded waste plastic stabilized soil for producing compressed earth bricks,» *Case Studies in Construction Materials*, vol. 11, pp. 120-127, 2019.
- [5] Roland Geyer, Jenna R. Jambeck et Kara Lavender Law, «Production, use, and fate of all plastics ever made,» *Sci. Adv.*, vol. 3, n° 1e1700782, pp. 1-5, 2017.
- [6] «ETUDE SUR LA GESTION DES DECHETS PLASTIQUES DANS L'ESPACE UEMOA,» 2013.
- [7] Alireza Mohammadinia, Yat Choy Wong, Arul Arulrajah et Suksun Horpibulsuk, «Strength evaluation of utilizing recycled plastic waste and recycled crushed glass in concrete footpaths,» *Construction and Building Materials*, vol. 197, pp. 489-496, 2019.
- [8] D. L. a. S. Kaewunruen, «MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE WITH RECYCLED COMPOSITE AND PLASTIC AGGREGATES,» *International Journal of GEOMATE*, vol. 17, n° 160, pp. 231-238, 2019.
- [9] N.M. Mary Treasa Shinu et S. Needhidasan, «An experimental study of replacing conventional



- coarse aggregate with E-waste plastic for M40 grade concrete using river sand,» *Materials Today: Proceedings*, 2019.
- [10] Zsolt Dobó, Zsófia Jakab, Gábor Nagy, Tamás Koós, Katalin Szemmelveisz et Gábor, «Transportation fuel from plastic wastes: production, purification and SI engine tests,» *Energy*, 2019.
- [11] Samuel Kofi Tulashie, Enoch Kofi Boadu et Samuel Dapaah, «Plastic waste to fuel via pyrolysis: A key way to solving the severe plastic waste problem in Ghana,» *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 11, pp. 417-424, 2019.
- [12] J. Kiran Kumar et V. Praveen Kumar, «Experimental analysis of soil stabilization using e-waste,» *Materials Today: Proceedings*, 2019.
- [13] Mohsen Abbaspour, Esmail Aflaki et Fereidoon Moghadas Nejad, «Reuse of waste tire textile fibers as soil reinforcement,» *Journal of Cleaner Production*, 2018.
- [14] Maklawe Essonanawe Edjabou, Morten Bang Jensen, Ramona Götze, Kostyantyn Pivnenko, Claus Petersen, Charlotte Scheutz et Thomas Fruergaard Astrup, «Municipal solid waste composition: Sampling methodology, statistical analyses, and case study evaluation,» *Waste Management*, 2014.
- [15] GUENDOUZ Mohamed, DEBIEB Farid et KADRI El hadj, «Formulation et caractérisation d'un béton de sable à base de déchets plastiques,» *hal*, 2015.



Typologie des sols en zone de production d'anacarde au sud du Mali : cas du cercle de Yanfolila

D.F. Wologuème^{1*}, A. Bengaly² et D. Dembélé³

¹Université de Ségou

²Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée, Katibougou

³Institut d'Economie Rurale, Bamako

*Adresses emails de tous les auteurs: Wologuemefanta@gmail.com

RESUME : Le sud du Mali est une zone d'excellence en arboriculture fruitière. L'objectif principal de ce présent travail est de caractériser les typologies des sols de Yanfolila pour une meilleure production de l'anacardier. Pour atteindre cet objectif, nous avons réalisé des enquêtes socio-économiques auprès des planteurs d'anacardier pour acquérir des connaissances ethnopédologie. Les informations recherchées étaient les types de sols présents dans le milieu, le comportement des cultures sur chaque type de sol en situation de sécheresse et sous irrigation éventuelle et les pratiques de gestion de ces sols dans les plantations. Trois fosses pédologiques d'au moins 2m de profondeur ont été réalisées pour cinq typologies locales recensées au cours des enquêtes. Les critères de détermination de ces typologies portent sur la couleur et l'endurance de la réalisation de puits traditionnel. Des observations géologiques, géomorphologiques et environnementales ont également été effectuées sur les couvertures pédologiques de Yanfolila. En plus des descriptions détail de profil, des échantillons ont été collectés pour la détermination de la densité apparente, la porosité et la texture. Ces résultats nous ont permis d'avoir la correspondance scientifique des principaux sols en Bamanankan : Bele dugukolo, Nbere dugukolo, Cencen dugukolo, Mura dugukolo, Fala dugukolo respectivement comme suit Sol ferrallitique remanié, Sol ferrugineux tropical induré, Sol ferrugineux tropical lessivé modal, Sol ferrugineux tropical lessivé à pseudogley, Sol hydromorphe. Ainsi les sols étudiés ont une aptitude moyenne (Fala dugukolo, Bele dugukolo, Cencen dugukolo, Mura dugukolo) à faible (Nbere dugukolo) pour l'anacardier. Alors que le résultat des enquêtes montre que le Bele dugukolo est très bien adapté à la culture de l'anacardier. Tous les sols sont généralement riches en sable, d'où leur faible capacité de stockage en eau avec une porosité inférieure à 45% et un pH inférieur à 6.

Mots clés : sol, arboriculture, ethnopédologie, anacardier.

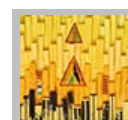
I. INTRODUCTION

Le sol est le résultat de divers facteurs qui participent à sa genèse (Rossignol, 2017). On lui attribue différentes formations pédologique correspondantes à des types de sols (Legros, 2013). La clé de cette différenciation est déterminée par le couplage climat et substratum géologique qui participe à sa formation. Les études concernant la classification de ces types de sols ont prioritairement abouti à la classification française (CPCS, 1967) suivi du classement de la FAO (IUSS/WRB 2015) tous étudiés à petite échelle. Après ces classements, de nombreux auteurs ont démontré la dégradation mondiale des terres (Muller ; 1974 et Roose, 2015), confirmé par Oldeman (1990), à 20 % de dégradation de la croûte terrestre, soit 48% des zones arides et 26 % des zones sub-humides africains.

Pieri, (1989) lie cette dégradation du sud du Sahara à l'explosion de l'activité microbiologique des sols im-posée par les alternances climatiques, de la structure instable des terres sensibles à l'érosion et de l'insuffisance des restitutions organiques et minérales. Ceci, malgré leur forte potentialité de production durable pour une meilleure restauration de ces terres dégradées, Houérou (1995), exige une mise en défense, un enrichissement en végétation pérenne seule capable d'augmenter la production de biomasse et de restaurer l'humus du sol et les

propriétés qui y sont liées (infiltration et vie biologique). Dans ce contexte, nous pouvons pratiquer l'agroforesterie ici, comme ailleurs pour rehausser le niveau de fertilité des sols, satisfaire les besoins en bois de feu, de service, résorber le déficit alimentaire, diminuer la pauvreté (Ndiaye et al, 2017), et l'orpaillage. Cette technique était depuis fort longtemps envisagée au temps de notre premier président : Modibo Keita par l'introduction des bosquets d'anacardiers (Dembélé, 2019). Des vestiges de ces vieilles plantations sont encore visibles sur le terroir (sites comme Senou, Samanko, Moribabougou et autres).

Ces semences ont été importées du Brésil à travers son homologue Sénégalais (Dogoni, 2018). Par la suite, la croyance de la population à la toxicité de la pomme cajou à travers le fameux contexte « de la consommation du lait immédiatement après celle de la pomme cajou », a poussé de nombreux planteurs à éliminer un grand nombre de ces anacardiers (Dogoni, 2018). Selon le président de l'Union des coopératives des planteurs d'anacardiers de Yanfolila (UCPY, 2017), la côte d'ivoire produit plus d'anacarde que le Mali par ce qu'ils ont gardé intactes les anciens plantations. Il est le premier producteur mondial à la production de noix de cajou depuis 2016 (Seters et Konno 2018) par une production de 700 mille tonnes en 2017 (Yao, 2018)



Yanfolila est une zone de production fruitière par excellence, elle est connue surtout par la quantité d'orange qui envahit la grande ville comme Bamako. Cependant, actuellement la jeunesse de cette localité est attirée par l'orpaillage traditionnel appelé « Daman » en langue Bamanankan. Pour atténuer l'importance de cette activité, il est important de développer une stratégie pour augmenter les revenus de la population. Le développement de la production de l'anacarde permet d'atteindre cet objectif.

II. OBJECTIFS

L'objectif principal de ce présent travail est de caractériser les typologies de sol de Yanfolila pour une meilleure production de l'anacardier.

Les objectifs spécifiques sont les suivants :

- Déterminer les types de sols par ethnopédologie (connaissance paysannes).
- Déterminer les types de sols par analyse classique

III. MATÉRIELS ET MÉTHODE

3.1 Enquêtes auprès des planteurs

Il est reconnu, que l'agriculture est généralement organisée en fonction des réalités locales. Si l'agriculture est globalement orientée aujourd'hui par les pratiques économiques dominantes du monde, les dynamiques d'évolution restent beaucoup liées aux réalités locales. Ainsi, pour mieux comprendre les pratiques paysannes, les contraintes et le suivi régulier des solutions proposées, les études à l'échelle locale sont indispensables. La pertinence de ces savoirs a été mise en évidence par de nombreuses études scientifiques approfondies (Dabin, 1951 ; Diallo et Keita, 1995 ; Barro –Barra and Zinck, 2003 ; Mikkelsen et 2004 ; Yacubu et al., 2014). Cependant, un problème de démarche est souvent noté et ne permet pas d'identifier toujours les aspects pertinents de ces savoirs. Dans notre étude, nous nous appuyons sur la démarche proposée par Diallo et al (1998) pour établir les liens entre la performance de la production horticole et les typologies de sol. Elles permettent de bien poser les diagnostics nécessaires en vue de prévoir et de planifier les activités futures.

Dans un premier temps, il y a eu d'entretien avec les focus groupes. La deuxième étape a été consacrée aux enquêtes avec questionnaire adressé individuellement aux planteurs.

3.1.1 Focus group

Des échanges en focus group avec plusieurs adhérents aux coopératives des arboriculteurs (anacardiens) dans le secteur de Yanfolila ont eu lieu. Pour avoir leur connaissance sur la typologie de sol dans leur milieu. Cette enquête préliminaire a été suivie d'excursion pédologique dans le paysage afin de déterminer l'emplacement des profils pédologiques.

3.1.2 Enquêtes individuelles

A Yanfolila, l'arboriculture est pratiquée par 87 % de la population (SA, 2018). Cela nous conduit à utiliser la formule suivante comme proposée par Yamane (1958):

$$n = \frac{pqz^2}{e^2} \quad (1)$$

Avec :

- N - représente la taille de l'échantillon ;
- p - représente la proportion de la population ciblée ;
- q = 1-p
- z - représente le niveau de confiance ;
- e - représente l'incertitude.

L'application numérique de cette formule résulte en :

$$N = \frac{pqz^2}{e^2} = \frac{0.87*(1-0.87)*(1.96)^2}{(0.05)^2} = 174$$

(2)

La proportion de trois types d'arboriculture est de :

$$p = \frac{n_i}{N} \quad (3)$$

D'où n_i est l'effectif relatif de la classe anacardier,

N - représente l'effectif total de l'échantillon.

Les principales informations recherchées dans les enquêtes sont :

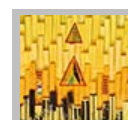
- Espèces et variétés fruitières cultivées ;
- Types de sols choisis par les planteurs d'anacardier ;
- Comportement des sols dans différentes situations hydriques (pluviométrie normale, sécheresse, irrigation maîtrisée);
- Pratiques actuelles de gestion de la fertilité des sols dans les plantations.

3.2 Caractérisations pédologiques classiques

3.2.1 Description morphologique des sols

Les résultats d'enquêtes et ceux d'une analyse morphopédologique préliminaire ont servi au choix des sites d'observations et de fosses pédologiques. Les observations simplifiées sont faites à partir de sondages à la tarière et de cavités préexistantes. Les descriptions détaillées sont faites dans les fosses pédologiques (trois par type de sol). Les principaux critères retenus pour la description des sols sont:

- Profondeur du profil;
- Epaisseur et profondeur des horizons majeurs;
- Couleur, texture, structure et propriétés mécaniques des horizons;



- Etat du système racinaire et activités biologiques dans les horizons;
- Présence et profondeur des signes d'hydromorphie, d'induration ferrugineuse et de roche inaltérée.

A l'issue des descriptions morphologiques de profils, et de son environnement, des échantillons de sol sont prélevés pour les analyses de laboratoire.

3.2.2 Analyses d'échantillons de sol au laboratoire

Les analyses ont porté sur la granulométrie et le pH. La granulométrie est faite avec la méthode internationale avec l'emploi de la pipette de Robinson. Elle s'effectue de façon à quantifier trois fractions (argiles, limons et sables). Par la suite, les classes texturales sont déterminées en utilisant le triangle USDA (United States Département of Agriculture).

3.2.2.1 Densité apparente et la porosité totale

La détermination de la densité apparente a été faite avec la méthode du cylindre, avec un cylindre de volume 360,5 cm³. Les échantillons de sol sont séchés à l'étuve à une température de 105 °C pendant au moins 24h en vue de connaître la masse à l'état sec.

Par la suite, la densité apparente et la porosité totale

ont été calculées comme ci-après :

$$Da = \frac{M}{V} \quad (4)$$

$$Pt = (1 - \frac{dr}{da}) * 100 \quad (5)$$

Da = densité apparente ; m = masse du sol sec;

V = volume du sol ; dr = densité réelle du sol ; Pt = porosité totale ;

3.2.3 Evaluation de l'aptitude des sols pour les cultures fruitières

La détermination de l'aptitude des sols est indispensable pour leur meilleure affectation aux différentes cultures. Elle s'appuie sur les caractères actuels susceptibles de réagir sur la production des cultures. Chaque culture ou groupe de cultures a ses exigences pédologiques. Les paramètres retenus pour la détermination de l'aptitude des sols comprennent la profondeur utile, la texture, le pH, l'eau utilisable, l'instabilité structurale, la pente, l'érodibilité, etc. Dans la présente étude, nous avons retenu trois caractères : la profondeur utile, la texture et le pH.

3.2.3.1 Justification du choix des caractères Pédologiques et critères de leur appréciation

Profondeur utile : elle permet d'apprécier les possibilités d'enracinement des cultures.

Texture : la texture est un élément important d'appréciation de la fertilité physique du sol ; elle influence le comportement hydrodynamique du sol.

pH : le pH du sol influence la disponibilité des éléments nutritifs pour la plante

IV. RESULTATS

4.1 Critères utilisés pour l'aptitude de l'anacardier sur les Sols de Yanfolila

Dans le tableau 1 nous avons des critères d'appréciation fixée pour l'anacardier en fonction de la profondeur et de la texture. Actuellement il n'y a pas de valeur fixe de pH pour l'aptitude de l'anacardier mais dans la plus part des cas nous avons des Ph compris entre 3 et 5,5.

Tableau 1: Caractères pédologiques utilisées et leur appréciation pour l'évaluation des aptitudes de l'anacardier

Culture	Profondeur utile (cm)			Texture		
	B	M	F	B	M	F
Anacardier	> 100	80 à 100	< 80	SL	LS	LA, AL, A

NB: B = bonne aptitude ; M = aptitude moyenne ;

F = aptitude faible SL: sablo-limoneux;

LS = limono-sableux AL = argilo-sableux LA = limono-argileux ; SA = sablo-argileux ;

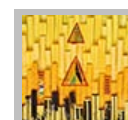
AS = argilo-sableux ; L = Limoneux ; A = Argileux ; LAS = limono-argilo-sableux.

4.2 Sols utilisés en culture d'anacardier

Les enquêtes ont montré que sur les cinq (05) types de sol de leur milieu, seul le sol 5 n'est pas utilisé pour la culture de l'anacardier. Ces sols sont listés au tableau 2, avec les dénominations locales et celles de la classification française de 1967 (CPCS, 1967).

Tableau 2 : Types de sol utilisés en culture d'anacardiers d'après les enquêtes réalisées (tableau ci-contre)

Type de sols	Désignation Locale	Classification CPCS (1967)	Affectation au culture d'anacardiers
Sol1	Bele dugukolo	Sol ferralitique remanié	X



Sol2	Nbere dugukolo	Sol ferrugineux tropical induré	x
Sol3	Cencen dugukolo	Sol ferrugineux tropical lessivé modal	x
Sol4	Mura dugukolo	Sol ferrugineux tropical lessivé à pseudogley	x
Sol5	Fala dugukolo	Sol hydromorphe minéral à gley oxydé	

4.2.1 Caractéristiques pédologiques des sols

4.2.1.1 Sol 1 (Sol ferralitique remanié):

« Bclc dugukolo »

Environnement et description du profil

Dans le paysage, le sol est localisé sur des buttes et versants courts à matériau plus ou moins gravillonnaire. C'est un sol épais dont les caractéristiques morphologiques sont les suivantes :

Horizons (H) : H₁ : 0 - 20 cm, 5YR 3/3, brun rougeâtre sombre, présence de gravillons ferrugineux

(0,2 - 20 cm) de formes diverses et de nombreuses racines d'orientation subhorizontale, tourmentées en fil de fer.

H₂ : 20 - 30 cm, 5YR 4/6, brun rougeâtre avec de nombreuses racines.

H₃ : 30 - 100 cm, 2,5YR 4/8, brun rougeâtre on remarque une tendance au carapacement avec de nombreuses racines.

Granulométrie et texture du Sol 1 :

Le sol est rattaché à une typologie dont les caractéristiques granulométriques sont montrées au tableau 3. On note une forte quantité de sables dans tous les horizons avec une prépondérance du sable grossier. Le taux d'argile augmente progressivement de l'horizon 1 à l'horizon 2 et diminue par la suite avec la profondeur. Les teneurs en limons sont faibles. Le

Sol1 est caractérisé par une forte densité apparente dès la surface (tableau3).

Tableau 3 : Caractéristiques analytiques du Sol1.

Caractéristiques (sol 1)		Horizon (cm)		
		0-20	20-30	30-100
Fractions granulométriques (%)	A	14,61	30,56	19,93
	LT	34,26	33,31	14,08
	ST	51,12	36,13	65,99
Classe texturale		LS	LA	LS
pH		5,36	5,38	5,14
Da		1,7	1,8	1,6
Pt		35	31	40

NB : % A = pourcentage d'argile ; % LT= pourcentage de limons total ; % ST= pourcentage de sable total ; LS: limono-sableux; LA: limono-argileux; LAS: limono argilo sableux; A: argileux; L: Limon eux; S: sableux.

4.2.1.2 Sol 2 (Sol ferrugineux tropical induré) : « Nbere dugukolo »

Environnement et morphologie du profil

Le Sol 2 est localisé sur un glaciais d'épandage où il occupe la partie amont. C'est un sol développé sur matériau colluvial. L'épaisseur du profil est limitée par la présence d'une carapace ferrugineuse ou d'une cuirasse, également ferrugineuse. Le drainage externe est bon de même que le drainage interne de la partie supérieure du profil. Vers la base du profil, avec l'influence de la couche indurée ferrugineuse, le drainage devient médiocre. Certaines caractéristiques morphologiques du profil sont présentées comme suit:

Horizons (H) : H₁: 0-14 cm, 7,5 YR3/3, structure massive.

H₂ : 14 - 44 cm, 7,5 YR6/8, structure Fragmentaire polyédrique subanguleuse,

H₃ : 44 - 66 cm, 7,5 YR7/8, structure Fragmentaire à massive.

L'ensemble du profil est sans tâche et de faible activité biologiques avec quelques éléments grossiers dans l'horizon 3.

Granulométrie et texture du Sol 2 :



Le Sol 2 a une texture assez fine. La fraction limoneuse est importante dans l'horizon 1 (tableau 4) avec un accent similaire dans les horizons 1 et 2. Les taux de sables sont presque similaires dans les horizons 2 et 3. La porosité totale du Sol 2 est moyenne dans tous les horizons (tableau 4).

Tableau 4 Caractéristiques analytiques du Sol2

Caractéristiques (sol2)		Horizon (cm)		
		0-14	14-44	44-66
Fractions	A	23,36	46,25	40,26
Granulométriques	LT	26,16	33,49	30,7
(%)	ST	50,48	20,26	29,04
Classe texturale		L	A	A
pH		4,38	4,27	4,24
Da		1,5	1,4	1,5
Pt		43	47	43

4.2.1.3 Sol 3 (Sol ferrugineux tropical lessivé modal)

: « Cencen dugukolo »

Environnement et morphologie du profil :

Le Sol 3 est localisé sur un glaciaire d'épandage où il occupe la partie aval. C'est un sol développé sur matériau colluvial. Le drainage externe est bon de même que le drainage interne de la partie supérieure du profil. Par contre, la partie inférieure du profil présente un drainage médiocre, se traduisant souvent par la présence de quelques taches et concrétions ferrugineuses. Certaines caractéristiques morphologiques du profil sont présentées ci-dessous : Horizons (H) : H₁: 0-10 cm, 7,5 YR 4/4, brun, Quelques graviers, structure massive, très nombreuses coprolithes, des racelles très abondantes.

H₂: 10-33 cm, 10YR6/6, brun jaunâtre claire, Pas de gravier, structure Fragmentaire

H₃: 33-120 cm, 10YR7/4, jaune orange terne, Nombreux graviers à la base du profil,

Granulométrie et texture du sol 3 :

C'est un sol riche en sable à toutes les profondeurs (tableau 5). Dans tous les cas on note une forte proportion du sable grossier. La texture est sableuse

dans la partie supérieure du profil et limono-argileux dans la dernière partie. Les valeurs de densité apparente attestent un sol peu tassé, avec une porosité totale dépassant 40% dans tous les horizons

Tableau 5 : Caractéristiques analytiques Sol3

Caractéristiques (Sol3)		Horizon (cm)		
		0-10	10-33	33-120
Fractions	%A	17,4	40,6	23,4
granulométriques	%L	2	6	9
(%)	T	43,3	37,5	65,0
	%ST	7	6	8
		39,2	21,7	11,4
		2	8	3
Classe texturale		L	L	LA
pH		3,78	3,86	4,07
Da		1,5	1,5	1,6
Pt		44	44	41

4.2.1.4 Sol 4 (Sol ferrugineux tropical lessivé à pseudogley) : "Mura dugukolo"

Environnement et morphologie du profil :

Mura dugukolo ou Bida occupe la partie aval du glaciaire d'épandage où il montre une morphologie assez proche de celle d'un bas-fond. Cette configuration ne favorise pas un bon drainage externe. Concernant le drainage interne, il est modéré dans la partie **supérieure du profil et médiocre dans la partie inférieure**, d'où la formation d'un pseudogley avec souvent la présence de nombreuses taches et concrétions ferrugineuses. La description des couleurs de l'horizon est la suivante :

Horizons (H) : H₁ : 0-20 cm, 10YR5/3, sans tache ni élément grossier, porosité fine.

H₂: 20-50, 10YR7/3, quelques taches ferrugineuses et éléments grossiers,

H₃: 50 - 104, 10YR8/2, nombreuses concrétions ferrugineuses.

La structure est massive à fragmentaire polyédrique sub anguleuse dans l'horizon 1, cependant, le reste



du profil a une structure fragmentaire polyédrique sub anguleuse.

Granulométrie et texture du Sol 4 :

L'horizon H₁ (0 - 20 cm) montre un faible taux d'argile et de fortes teneurs en limons et sables. Concernant l'argile, la teneur augmente de façon nette avec la profondeur (tableau 6).

Les valeurs de densité apparente et de porosité totale attestent un sol de bonne structure.

Tableau 6 : Caractéristiques analytique du Sol 4 :

Caractéristiques (Sol4)		Horizon (cm)		
		0-20	20-50	50-104
Fractions granulométriques (%)	A	20,69	18,65	31,55
	LT	35,65	48,77	15,1
	ST	43,65	32,59	53,36
Classe texturale		L	L	LAS
pH		4,34	4,17	4,31
Da		1,3	1,5	1,4
Pt		51	44	48

4.2.1.5 Sol 5 (Sol hydromorphe minéral à gley oxydé) :

« Fala dugukolo »

Tableau7 : Caractéristiques analytique du Sol5.

Caractéristiques (Sol 5)		Horizon (cm)		
		0 - 10	10 - 33	33 - 120
Fractions granulométriques (%)	A	17,42	43,37	39,22
	LT	40,66	37,56	21,78
	ST	23,49	65,08	11,43
Classe texturale		L	L	L _t A
pH		3,78	3,86	4,07
Da		1,3	1,5	1,4
Pt		51	44	48

Environnement et morphologie du profil :

Ce sol est localisé dans le lit majeur des cours d'eau. Il est développé sur un matériau alluvial ou colluvio-alluvial. Le site est caractérisé par une inondation

aléatoire, de profondeur et de durée extrêmement variables.

La morphologie du profil est marquée par l'existence d'une nappe fluctuante de forte amplitude.

Granulométrie et texture du sol5

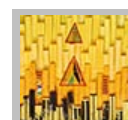
La couche superficielle (0-10cm) est de texture limoneuse. Dans les horizons sous-jacents, le taux d'argile augmente de façon très nette (tableau7). La porosité totale qui est 40% dans l'horizon de surface s'améliore légèrement dans les horizons sous-jacents (Pt >45%)

V. DISCUSSION

Le Mali est un pays à vocation essentiellement agropastorale dont les activités occupent près de 80 % de la population active (Clinquart, 2010). Dans le cadre du renforcement de la compétitivité de la filière agricole et la diversification de production agricole, l'anacarde occupe la deuxième place importante dans l'économie du sud du Mali (PCDA, 2006) avec 3 500 tonnes de productions annuelles par an. Cette zone a été délimitée par Goujon et al, (1973) à une superficie de 12 500 km² avec une condition écologique excellente pour la production de noix de 1 à 1,2 t / ha. Dans ce présent travail nous avons élaboré une typologie de sol locale à travers des connaissances ethnopédologie reçue au cours de notre enquête effectuée auprès des paysans. A la suite de ces enquêtes, nous avons réalisé des descriptions de profil pédologique d'au moins 2 m de profondeur. Ces atouts endogènes nous ont permis d'identifier quatre types de sols par ordre de préférence successive pour la culture de l'anacardier. A savoir : Bele dugukolo, Nbere dugukolo, Cencen dugukolo, Mura dugukolo. Les Batandu ont également distingué quatre types de sols locaux en langue kitandu à 20 cm (profondeur) de leur couverture pédologiques suivants trois principaux critères : la couleur, la texture et la facilité de travail le sol (Emilien et al, 2014). D'autres populations apprécient le sol uniquement par sa couche superficielle (Bautista et Zinck, 2010 ; Nethononda et Odhoambo, 2011). Cependant, Emillien lie le faible critère d'appréciation à la faible variation des horizons présents dans le milieu. Le nombre de critère d'appréciation est fixe en fonction de l'objectif de l'étude. Par ailleurs, nous remarquons que la plupart de la documentation de l'anacarde est accentuée sur la transformation de la pomme cajou et sa commercialisation plus tôt que l'accroissement de l'augmentation de la production, surtout sur le plan national (Lauti et al, 2000 et Dogoni 2018). Ainsi, il sera intéressant d'élargir les recherches sur l'amélioration de la production à l'hectare pour une durabilité de la chaîne de valeur.

VI. CONCLUSION

Cette étude a mis en évidence l'existence de cinq horizons de surface appelés respectivement en

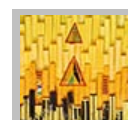


langue nationale : Bele dugukolo, Nbere dugukolo, Cencen dugukolo, Mura dugukolo et Fala dugukolo. Il est à préciser que seul le Fala dugukolo n'est pas utiliser pour la culture de l'anacardier. Leur porosité varie de 30 à 40 %, le pH est acide avec une valeur de 3 à 5.

Ce travail étant une partie de la thèse doctorale, la suite des travaux nous permettra de proposer des solutions techniques adéquates pour l'aptitude des sols pour l'anacardier.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

1. B. Dabin., « Contribution à l'étude des sols du delta Central Nigérien ». *Agro Trop* 1951 ; 6 : 606-37.
2. C. Pieri., *Fertilité des terres de savanes*. Cirad, Min. Coopération, Paris, 1989, 444 p.
3. CPCS (Comité Pédagogique de Classement des Sols) : *classification des sols*, Travaux de la commission de pédologie et de cartographie des sols, Edition 1967 ; 92 p.
4. D.Dembélé., Institut d'Economie Rurale (IER), Direction Générale, Bamako, 2019.
5. D. Diallo, D. Keita ., « Un système paysan de classement des sols dans la zone agro-écologique du Djitoumou, Mali ». *Cahier d'agriculture* 1995 ; 4 : 371-5.
6. D.Diallo.,E.Roose .,B.Barthès.,J. Asseline., « Recherche d'indicateurs d'érodibilité des sols dans le bassin versant de Djitiko (Haut-Bassin du Niger au sud Mali) ». *Bull. Réseau Erosion* 18 : 1998A, 336-347.
7. E. Dubiez, T. Yamba Yamba, B. Mvolo, V. Freycon., « Perception locale des sols et de leur évolution dans des terroirs en cours de savanisation des populations Batandu en République démocratique du Congo ». *Bois Et Forêts Des Tropiques*, 2014, N° 319 (1)
8. E. Lautié, M. Dorniera, M. S. Filhoc, M. Reynes., *Les produits de l'anacardier : caractéristiques, voies de valorisation et marchés*. Fruits, vol. 56 (4), 2000. dornier@cirad.fr
9. H. Houerou., *Dégradation, régénération et mise en valeur des terres sèches d'Afrique*. In «L'homme peut-il refaire ce qu'il a dé fait? » Pontanier R., M'Hiri, Akrimi N., Aronson J., Le Floch'h E., eds., John Libbey Eurotext, 1995. Paris: 65-102.
10. IUSS ('Union Internationale des Sciences du Sol) Working Group WRB(La Base de référence mondiale. 2015. Base de référence mondiale pour les ressources en sols 2014, Mise à jour 2015. Système international de classification des sols pour nommer les sols et élaborer des légendes de cartes pédologiques. Rapport sur les ressources en sols du monde N° 106. FAO, Rome. ISBN: 978-92-5-130380-1 (FAO). FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) et SSSB (Soil Science Society of Belgium), 2018.
11. J.P. Legros, 2013. Latérites et autres sols des régions intertropicales par Jean-Paul Legros. Conférence n°4252, Séance académique du 09/12/2013, Bulletin n°44, pp. 369-382. Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, <http://www.ac-sciences-lettres-montpellier.fr/>.
12. J.P. Rossignol., *Les sols source de vies*. Actes de la journée d'information de la Société Nationale d'Horticulture de France: PARIS, LE 12 DÉCEMBRE 2017., Edition 2017, ISBN : 978-2-913793-26-2.
13. J.V. Seters et D.d. Konnon., *Capitalisation des expériences et acquis de la Côte d'Ivoire en matière de politiques publiques, de structuration et de gestion de la filière anacarde*. DOCUMENT DE RÉFLEXION no 234, 2018, Au service des politiques efficaces. ISSN1571-7577. www.ecdpm.org/dp234
14. L. Oldeman., R. Hakkeling., V. Sombroek., *World map of the status of human induced soil degradation*. Projet GLASOD., ISRIC, Wageningen and UNEP, Nairobi, 1990
15. L. O. Nethononda., J. J. O. Odhiambo., *Indigenous soil knowledge relevant to crop production of smallholder farmers at Rambuda irrigation scheme, Vhembe District South Africa*. *African Journal of Agricultural Research*, 2011, 6 (11): 2576-2581.
16. N. Barrera-Bassols. et J.A. Zink., « Ethnopedology in a worldwide perspective » : an annotated bibliography, ITC Publication, Enschede, 2000, 636p.
17. PCDA.; *Etude de la filière anacarde au Mali*. Programme de compétitivité pour la diversification agricole, 2006. nauglej@enterpriseworks.org .
- 18.P. Clinquant., *Représentations et usages des espèces ligneuses : Une Approche par les traits fonctionnels pour une ingénierie des systèmes agroforestiers en zones arides et semi-arides cas des parcs agroforestiers de La Zone De Tiby Au Mali*. Mémoire de stage de fin d'études. Soutenu publiquement le mercredi 8 décembre 2010 à l'Ecole d'ingénieurs de Purpan, Toulouse.
19. P. Goujon ., A.Lefebvre ., Ph. Leturcq., A.P. Marcellesi et J.C . Praloran., « Études sur l'anacardier - Régions écologiques favorables à la



culture de l'anacardier en Afrique francophone de l'ouest ». Fruits, mars 1973, vol. 28, n°3, p. 217-223.

20. Roose E. ; *Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens*. Contribution à l'agroécologie. Editions 2015, Institut De Recherche Pour Le Développement Montpellier. Version préliminaire.

21. S.A. (service d'agriculture) de Yanfolila 2018. Base de données

22. S .Ndiaye. ; A. Seck.; M. M.Charahabil. ; « Caractérisation des Plantations à base d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) dans le Balantacounda: cas des communes de Kaour, Goudomp et Djibanar (Casamance/Sénégal) » 2017. doi: 10.19044/esj.2017.v13n12p242. URL :

<http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n12p242> .

23. UCPY, Union des coopératives des planteurs d'anacardiers de Yanfolila. Président : Yacouba Diakité, 2017.

24. Y .Chatelin.; Les sols Ferrallitiques. Tome 1. *Initiations-Documentations Techniques* No 20 de l'ORSTOM, 1972.

25. Y. Dogoni ., « Economie transfrontalière et développement local participatif : la contribution de la filière de l'anacarde au développement de la zone sikasso-korhogo-bobo dioulasso dans un contexte de coopération transfrontalière ». thèse pour le doctorat unique ; Institut Supérieur de Formation et de Recherche Appliquée (ISFRA).; Soutenu le Vendredi, 19 octobre 2018.



Influence de l'application foliaire de deux biopesticides sur la dynamique des ravageurs du haricot vert (*Phaseolus vulgaris*) dans les conditions agroécologiques de Katibougou

Laya Kansaye*, Samba dit Mamoudou Sissoko, Seydou Diallo, Pinda Kansaye et Amadou Konotié Coulibaly
Laboratoire de Biologie des Arthropodes et de Lutte Intégrée IPR/IFRA de Katibougou

* Adresse de correspondance : kansayel@gmail.com

RESUME : Le haricot vert (*Phaseolus vulgaris*) est une légumineuse cultivée pour sa richesse en vitamines et en acides aminés indispensables à l'équilibre fonctionnel de notre organisme. L'essai de la production biologique du haricot vert a été installé dans le potager de l'IPR/IFRA de Katibougou. L'objectif global de l'essai est de contribuer à l'amélioration de la production biologique du haricot vert. Le dispositif expérimental utilisé est le split plot avec 5 répétitions. Deux variétés de haricot (Cora et Alyze) et deux formulations d'extrait de plantes pesticides ont été utilisées pour la conduite de l'essai. Au cours de l'essai des mesures biométriques et des observations entomologiques ont été réalisées. La variété Cora a enregistré les plus grandes valeurs pour toutes les variables agronomiques au cours des différentes dates de mesure. Le ravageur majeur rencontré est *Bemisia tabaci* et le pourcentage d'efficacité des formulations (F1 = Park + Mor + Ca + Lep + Koby + Bk et F2 = Park + Sec + Ca + Lep + Koby + Bk) sur cet insecte a varié entre 64 et 96% à la deuxième semaine des traitements phytosanitaires du haricot vert. Pour la variété Cora le rendement moyen des plants traités avec les formulations F1 et F2 ont enregistré un rendement supérieur au témoin avec respectivement 15.58 ; 15.21 t/ha pour F1 et F2 et 15,07t/ha pour le traitement témoin. Les extraits des plantes ont donné un effet de protection satisfaisant contre la mouche blanche qui a été le principal insecte ravageur de la culture.

Mot clé : *Phaseolus vulgaris*, biopesticides, pourcentage efficacité, IPR/IFRA de Katibougou.

I. INTRODUCTION

Le haricot vert (*Phaseolus vulgaris* L.) est présent aujourd'hui sur tous les continents. Cette légumineuse est l'un des légumes les plus appréciés de nombreuses régions du monde et le plus utilisé dans l'exportation, il constitue une source de compléments protéiques pour l'alimentation des populations [1], une source de revenus majeur pour les petits producteurs [2] des paysans africains. Cependant, les contraintes biotiques particulièrement les insectes affectent la productivité de cette légumineuse et beaucoup de producteurs ont recours aux produits chimiques de synthèse pour le contrôle des ravageurs.

Les plantes produisent des substances actives ayant des propriétés insecticides, aseptiques ou encore régulatrices de la croissance des plantes et des insectes. Le plus souvent, ces substances actives sont des métabolites secondaires qui, à l'origine, protègent les végétaux des herbivores [3]. Il est clair que ces métabolites interviennent dans les relations qu'entretiennent les plantes avec les organismes vivants qui l'entourent [4]. Ainsi, les extraits de ces plantes ont des activités biocides (toxique, répulsive, anti-appétant) vis-à-vis d'une large gamme de bioagresseurs [5]. En comparant les extraits de plantes aux insecticides classiques, [6] ont pu démontrer que certains extraits peuvent présenter la même efficacité que les insecticides chimiques de synthèse. Les biopesticides, comme les pyrèthres,

insecticides extraits de la plante *Tanacetum* (*Chrysanthemum*) *cinerariae folium* ont une action rapide, une faible toxicité contre les mammifères ainsi qu'une faible persistance après leur application [7].

L'utilisation des plantes pesticides sous toutes les formes contribuent de manière significative à l'amélioration de la production alimentaire et au maintien des moyens de subsistance [8] et se révèlent comme une avenue de rechange à l'utilisation des insecticides chimiques de synthèse. Ainsi cette étude a été conduite pour mettre en évidence l'impact de deux formulations d'extraits des plantes sur les ravageurs du haricot vert.

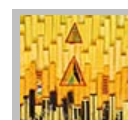
II. METHODOLOGIE

2.1 Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de la variété Cora et Alyze. La variété Cora est de type mangetout son cycle varie de 50 à 60, très productive ; la gousse est verte foncée de section ronde avec des graines de couleur blanche. Quant à la variété Alyze, elle est précoce associe haut rendement. La plante est de végétation réduite. La gousse est verte très foncée a section ronde.

2.2 Formulations des extraits végétaux ou biopesticides

Les formulations sont constituées des gousses de *Parkia biblobosa* (Park), de l'appareil végétatif de *Leptadénia hastata* (Lep), de *Cassia nigricans* (Ca),



les gousses du *Moringa oleifera* (Mor), les rameaux et feuilles de *Securinega virosa* (Sec) et des adhésifs constitués de beurre de karité (Bk) et huile de *Carapa procera* (Koby). Ces organes végétatifs ont été tous pilés et transformés en poudre pour la préparation des formulations par macération. Les deux formulations sont composées respectivement pour F1 (Park + Mor + Ca + Lep + Koby + Bk) et F2 (Park + Sec + Ca + Lep + Koby + Bk).

2.3 Site d'expérimentation

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

2.4 Dispositif expérimental

Le dispositif utilisé est le split-plot comportant 3 traitements principaux (F1, F2, T) et les traitements secondaires sont composés de deux variétés (V1, V2) avec 5 répétitions. La superficie d'un bloc mesure 20m² soit 10 m x 2 m avec des allées de 0,5 m entre les blocs et les sous parcelles mesurent 6m² soit 3 m x 2 m, elles sont espacées entre elles de 0,5 m. l'essai est constitué au total de 6 traitements:

- F1V1 : Formule 1 sur la variété Cora
- F1V2 : Formule 1 sur la variété Alyze
- F2V1 : formule 2 sur la variété Cora
- F2V2 : formule 2 sur la variété Alyze
- TV1: témoin Cora
- TV2: témoin Alyze.

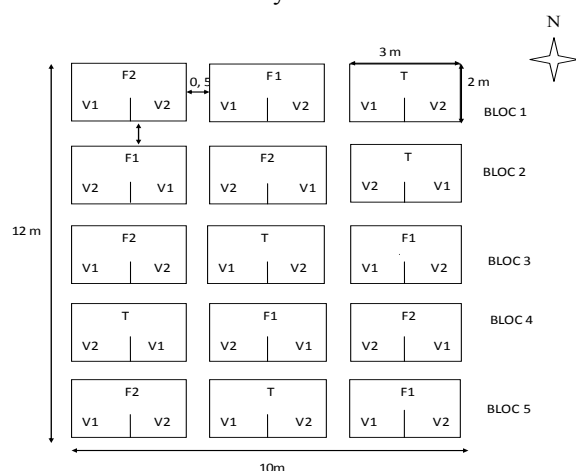


Figure 1. Plan de masse

Deux facteurs ont été étudiés notamment, le traitement phytosanitaire pris à 3 niveaux de variation à savoir F1=formule 1 et F2= formule 2 et T=témoin. Le facteur variété est pris à 2 niveaux de variations le V1 Cora et V2 Alyze.

2.5 Conduite de l'essai

2.5.1 Préparation du sol et semis

L'aménagement du sol a consisté au nettoyage des résidus végétaux, au labour du site suivi de la confection des planches de 10 m de long et 2 m de large soit une superficie de 20m². Chaque planche a reçu 16kg de lombricompost comme fumure

organique de fond soit la dose de 8 T/ha. Avant le semis les planches ont été suffisamment arrosées par système gravitaire enfin de faciliter les travaux d'installations pour faire un bon lit de semis. Le semis du haricot vert a eu lieu le 11 novembre 2018 sur les lignes de semis tracées à l'aide d'un rayonneur aux écartements de 40x40cm à raison de 2 graines par poquet, les 5 planches de 20m² ont été subdivisées en 3 sous parcelles chacun.

2.5.2 Opérations d'entretien

L'irrigation se faisait à l'aide de l'arrosoir chaque 2 jours jusqu'aux 14^{ème} jours après semis. Après les 14^{ème} jours l'irrigation se faisait en système gravitaire tous les 6 jours jusqu'à la fin du cycle de la culture.

Les planches du haricot vert ont bénéficié de trois (3) sarco-binages. Le premier a été effectué le 25 Novembre 2018 et les deux autres à la demande.

Un seul traitement phytosanitaire a été effectué tout au long du cycle de la culture contre les ravageurs à partir du 06 janvier 2019 au 57^{ème} jour après semis (JAS) avec un appareil de traitement de type ULV de capacité d'1 litre a la dose de 2 litres à l'hectare.

2.6 Récolte

Les cueillettes des gousses vertes immatures sont réalisées tous les six jours et pesées au laboratoire pour le calcul de rendement.

2.7 Mesures agronomiques et les observations entomologiques

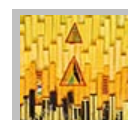
Les mesures agronomiques et les observations entomologiques ont été effectuées dans les carrés d'observation comprenant 8 plants dans chaque sous planches en raison de 4 plants par variété. Les observations ont porté sur les 3 lignes centrales en laissant les 2 premières lignes pour effet de bordures.

2.7.1 Mesures agronomiques

Les différents paramètres ont été mesurés le 29^e, 43^e et 57^e JAS et ont concerné le diamètre au collet effectué à l'aide du pied à coulisse. Pour la détermination de la hauteur moyenne des plants le mètre ruban a été utilisé pour effectuer la mesure de taille des plants du collet au bourgeon terminal. Le comptage du nombre de feuille de chaque rameau de chaque plant marqué a été effectué pour avoir le nombre total des feuilles des plants et pour chacun de ces plants les rameaux fructifères ont été comptés.

2.7.2 Observations entomologiques

Elles étaient hebdomadaires et ont consisté à faire un diagnostic de tous les organes des plants présents dans les carrées d'observation du collet aux dernières feuilles toutes les semaines à partir de la première date d'observation afin de dénombrer les arthropodes nuisibles et utiles rencontrés et de déterminer les groupes systématiques auxquels ils appartiennent. La détermination des spécimens



rencontrés a été faite directement au champ ou au laboratoire à l'aide des clés de détermination. L'évolution des populations d'insectes des parcelles traitées et non traitées ont été comparées pour déterminer l'efficacité (Ep) des différents produits selon la formule de Henderson et Tilton [9]:

$$Ep(\%) = \left[1 - \left(\frac{DTa}{DTb} \times \frac{DCb}{DCa} \right) \right] \times 100$$

, où

DTb et DCb = densité des ravageurs avant application du pesticide dans respectivement les parcelles traitées et témoins ; et DTa et DCa = densité des ravageurs après application du pesticide (chimique ou bio) dans respectivement les parcelles traitées et témoins.

2.7 Traitement et analyse des données

Les données ont été saisies dans le logiciel Excel avant de les analyser avec le logiciel GenStat édition 12 pour déterminer la variance entre les facteurs étudiés, les moyennes ont été également comparées avec le test de Student-Newman-Keuls au seuil de $\alpha = 5\%$. Le logiciel Microsoft Office Excel 2007 a été utilisé pour élaborer les graphiques.

III. RESULTATS

3.1 Effets des extraits sur les paramètres agronomiques

3.1.1 Diamètre moyen au collet

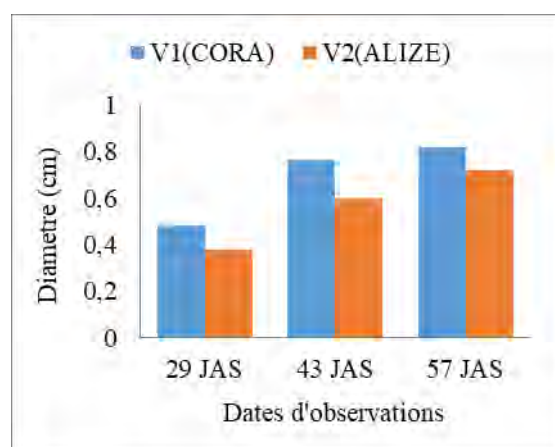


Figure 2. Diamètre moyen des plants

Pour l'ensemble des dates de mesures la variété cora (v1) a donné les diamètres au collet les plus élevés (

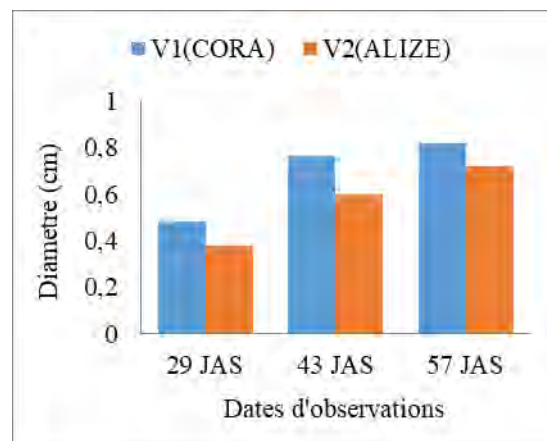


Figure) avec des valeurs respectives de 0,4 ; 0,76 et 0,82 cm pour les dates de mesure 29^e ; 43^e et 57^e JAS. L'analyse de variance des données ne montre pas de différence entre les différents traitements pour les mêmes dates d'observation et les différentes dates d'observations pour les deux variétés soumises aux différents traitements avec $p > 0,05$ au seuil de $\alpha = 0,05$.

3.1.2 Hauteur moyenne des plants

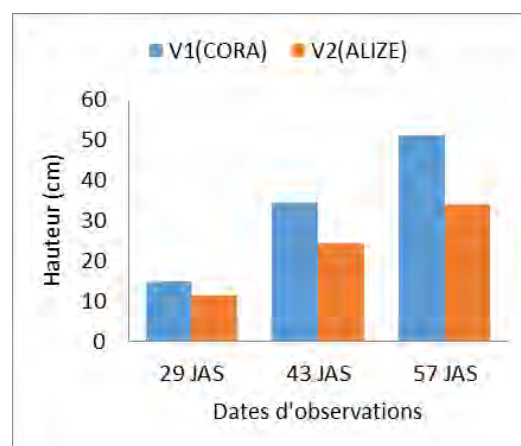


Figure 3. Hauteur moyenne des plants

Concernant la taille des plantes, la variété cora a donné une taille moyenne respective de 14,91cm, 34,55cm et 51,5cm aux 29^{ème}, 43^{ème} et 57^{ème} JAS cependant pour la variété Alizé les tailles moyennes sont de 11,3cm, 24,35cm et 34,18cm pour les mêmes dates de mesure. Dans l'ensemble les plants de cora ont été les plus hauts au cours des trois dates de mesure (Figure). L'analyse de variance des données ne montre pas de différence entre les différents traitements pour les mêmes dates d'observation ($p > 0,05$; $\alpha = 0,05$). Cependant l'analyse des données pour les différentes dates de mesures montre une différence significative entre hauteurs des plants des différents traitements avec $p < 0,01$ avec $\alpha = 0,05$.

3.1.3 Nombre moyen de feuilles par plants



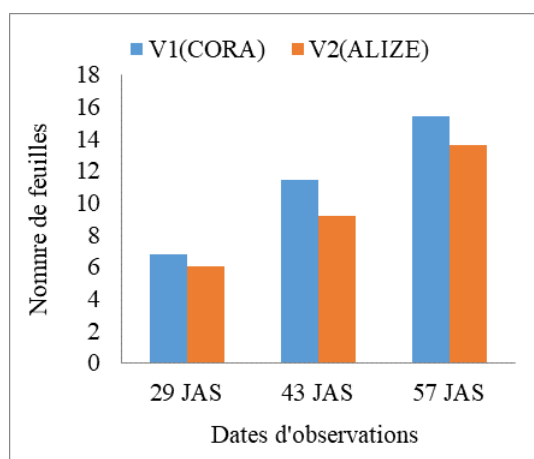


Figure 4. Nombre moyen de feuilles

Le plus grand nombre de feuilles est observé chez la variété V1 (Cora) avec respectivement 6,8 ; 11,4 et 15,4 feuilles en moyenne pour les trois différentes dates d'observation contre 6,00; 9,2 et 13,6 feuilles pour la variété Alizé pendant les mêmes dates de mesure (Figure). L'analyse de variance des données ne montre pas de différence entre les différents traitements pour les mêmes dates d'observation ($p > 0,05$; $\alpha = 0,05$). Cependant l'analyse des données pour les différentes dates de mesures montre une différence significative entre le nombre de feuille des plants des différents traitements avec $p = 0,006$ au seuil $\alpha = 0,05$.

3.1.4 Nombre moyen de ramifications

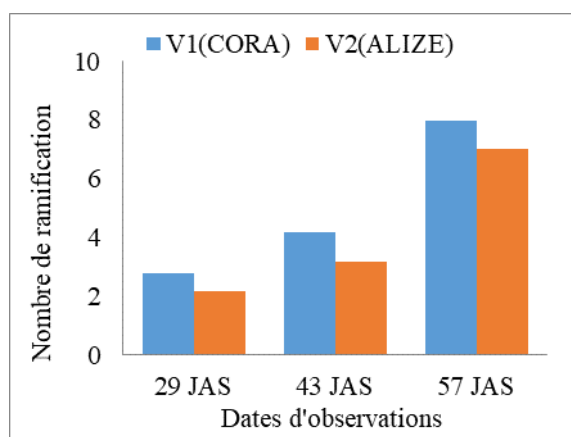


Figure 5. Nombre moyen de ramifications

Le nombre moyen des rameaux est respectivement de 2,8 ; 4,2 et 8 branches fructifères aux 29^{ème}, 43^{ème} et 57^{ème} JAS pour la variété Cora (V1) contre 2,2 ; 3,2 et 7 branches fructifères pour la variété

Alizé (V2) aux mêmes dates de mesure. Pour toutes les dates d'observations la variété Cora a eu plus de rameaux fructifères (Figure). Quant aux nombre moyen de ramifications l'analyse de variance des données ne montre aucune différence entre V1 et V2 au cours des différentes dates de mesures pour les différents traitements avec $p = 0,920$ au seuil $\alpha = 0,05$.

3.2 Effet des extraits des plantes sur le rendement moyen du haricot vert

Les résultats de l'analyse de variance des données ne présentent pas de différences significatives entre les différents traitements de la variété Cora (F1V1 ; F2V1 et TV1) au seuil $\alpha = 0,05$ avec $p = 0,973$. Tous les traitements sont statistiquement égaux avec un rendement moyen de 15,29 T/ha. S'agissant de la variété Alyze, les résultats de l'analyse de variance des données ne présentent également pas de différences significatives entre les différents traitements (F1V2, F2V2 et TV2) au seuil $\alpha = 0,05$; $p = 0,569$. Tous les traitements sont statistiquement égaux avec un rendement moyen de 10,35T/ha. Au regard de ces résultats, on remarque que les traitements de la variété Cora ont obtenu le meilleur rendement comparativement aux traitement de la variété Alyze.

Tableau 1. Rendements (t/ha)

Désignations	V1 (Cora)	V2 (Alyze)
F1	15,58a	10,21a
F2	15,21a	9,63a
Témoin	15,07a	11,22a
Moyenne générale	15,29	10,35
Prob.	0,973	0,569
CV (%)	23,1	22,40

F1 = Park + Mor + Ca + Lep + Koby + Bk; F2 = Park + Sec + Ca + Lep + Koby + Bk et T= Témoins sans apport de biopesticides.

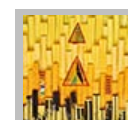
3.3 Effets des extraits sur l'évolution des insectes

3.3.1 Phytophages inventoriés sur le haricot vert

Au cours de la campagne maraîchère 2018 /2019 onze différentes espèces d'insectes phytophages appartenant à 10 genres de 7 familles (Tableau 2) ont été inventoriés sur les différents traitements du haricot vert. Les espèces rencontrées appartiennent à 5 ordres qui causent couramment de dégâts sur les cultures maraîchères au Mali. Parmi ces insectes phytophages, *Bemisia tabaci* responsable des maladies virales du haricot vert a été le plus important.

Tableau 2 : Types des ravageurs rencontrés sur le haricot vert

Ordres	Familles	Genres	Espèces	Stades	Localisation
Homoptera	Aleyrodidae	<i>Bemisia</i>	<i>tabaci</i>	Adultes	Feuilles
	Cicadellidae	<i>Empoasca</i>	<i>sp</i>	Adultes	Feuilles
Lépidoptera	Noctuidae	<i>Helicoverpa</i>	<i>armigera</i>	Larves	Feuilles et gousses
		<i>Spodoptera</i>	<i>sp</i>	Larves	Feuilles et gousses



Coléoptera	Chrysomelidae	<i>Nisotra</i>	<i>sp</i>	Adultes et larves	Feuilles et l'inflorescence
Hétéroptera	Miridae	<i>Lygus</i>	<i>pratensis</i>	Adultes	Feuilles
		<i>Nesidiocoris</i>	<i>sp</i>	Adultes	Feuilles
	Pentatomidae	<i>Agonoscelis</i>	<i>sp</i>	Adultes	Feuilles
		<i>Nezara</i>	<i>viridula</i>	Adultes	Feuilles
Orthoptera	Tetrigidae	<i>Tetrix</i>	<i>undulata</i>	Adultes	Feuilles

3.3.2 Evolution des populations des autres phytophages

Plusieurs autres insectes phytophages ont été inventoriés sur le haricot vert cependant, leurs apparitions ont été très irrégulières pendant toute la période d'observation et la densité de leurs populations est restée très faible.

3.4 Efficacité des extraits des plantes sur *Bemisia tabaci* du haricot vert en station

L'efficacité d'Henderson et Tilton permet de tirer des conclusions plus cohérentes sur l'essai du fait que son calcul tient compte de la population initiale du ravageur de chaque parcelle élémentaire. La formulation F2 (Park + Sec + Ca + Lep + Koby + Bk) offre une efficacité suffisante de 80% au cours de la première semaine du traitement au niveau de la variété Cora (V1). Contrairement aux formulations F1 (Park + Mor + Ca + Lep + Koby + Bk) sur V1 et F2 sur la variété Alyze (V2) avec des efficacités respectives de 19% et 25% pour les formulations F1 et F2. La formulation F1 sur Alyze (F1V2) présente une efficacité négative (-18%). Pendant la deuxième semaine des traitements, les deux formulations offrent des pourcentages d'efficacité satisfaisants compris entre 64 et 96%.

3.3.2 Evolution des populations de *Bemisia tabaci*

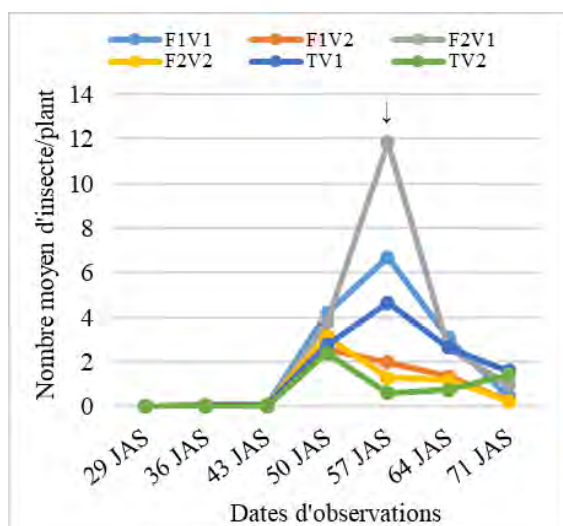


Figure 6. Evolution des populations de *Bemisia tabaci* sur les deux variétés de haricot vert

Bien avant les traitements aux biopesticides *Bemisia tabaci* est apparu au 43^e JAS avec de très faible densité sur l'ensemble des traitements. C'est à partir de la quatrième date d'observation au 57^e JAS que les populations importantes de *B. tabaci* ont été enregistrées sur les traitements avec des densités comprises entre 1 et 12 individus/plant. Et les cultures du traitement F2V1 ont abrité la plus forte densité avec 12 individus par plant.

Au 64^e JAS, après les traitements, on constate une diminution de la densité des populations avec 3,1 individus/plant sur F1V1, 1,35 sur F1V2 avec 2,65 individus/plant sur F2V1 et 1,2 sur F2V2. Une augmentation de la densité des populations de *Bemisia tabaci* a été constatée au niveau du témoin TV2 (la variété Alyze) avec 0,75 individu par plant. Au 71^e JAS à l'exception du traitement TV2, on note une régression progressive de la densité des insectes sur les différents traitements.

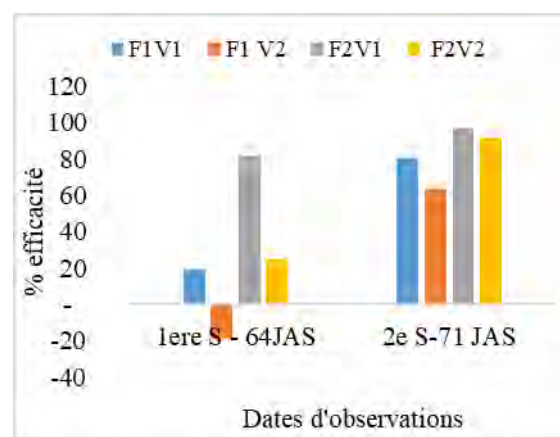


Figure 7. Efficacité des extraits des plantes
F1 = Park + Mor + Ca + Lep + Koby + Bk
F2 = Park + Sec + Ca + Lep + Koby + Bk
T= témoin sans biopesticide
V1= Variété Cora et V2= Variété Alyze

Ces résultats montrent que les produits dans l'ensemble sont plus efficaces dans la deuxième



semaine du traitement attestant une action lente et graduelle des formulations.

IV. DISCUSSIONS

Les mesures montrent que Cora a enregistré les plus grands nombres pour toutes les variables agronomiques observées. Ces données sont conformes aux informations de la fiche technique qui stipule que la variété Alyze est une plante de végétation réduite mais très remontante [10]. Le rendement moyen de la variété Cora traitée avec les formulations F1 et F2 est supérieur au rendement du témoin avec respectivement 15,58 ; 15,21 t/ha pour F1 et F2 contre 15,07t/ha pour le témoin. Ces résultats confirment l'idée de Silvie & Martin [11] ou l'emploi de certains produits naturels en protection des cultures permet dans certains cas d'accroître les rendements, pour un rapport coût-bénéfice similaire à celui des pesticides de synthèse. Pour l'ensemble des traitements, les rendements sont compris entre 9,63t/ha pour la variété Alyze soumise au traitement phytosanitaire avec la formulation F2 et 15,58t/ha pour le traitement variété Cora soumise au traitement phytosanitaire avec la formulation F1. Selon Kimani [2], le rendement du haricot vert dans les petites exploitations varie de 2 à 8 tonnes par hectare, alors que les producteurs à grande échelle peuvent produire plus de 14 tonnes par hectare.

Bemisia tabaci a été le ravageur majeur rencontré sur le haricot vert et leur densité est plus élevée au niveau de la variété Cora. Cet état de fait peut-être lié à la végétation plus abondante avec plus de jeunes feuilles au niveau de cette variété.

Pour le contrôle de *Bemisia tabaci*, la formulation F2 (Park + Sec + Ca + Lep + Koby + Bk) a offert une efficacité suffisante de 80% au cours de la première semaine du traitement au niveau de la variété Cora (V1) et au cours de la deuxième semaine les deux formulations ont offert des pourcentages d'efficacité satisfaisants compris entre 64 et 96% selon Kulimushi [12], les extraits à base des bulbes d'ail utilisés seuls ainsi que leur combinaison avec les extraits aux feuilles de papayer, ont un fort pouvoir de contrôler les pucerons noirs. Selon Silvie & Martin [11], plusieurs études ont évalué le potentiel des plantes pesticides utilisées traditionnellement en Afrique de l'Ouest et de nombreuses plantes ont un réel effet sur les agresseurs des cultures.

V. CONCLUSION ET SUGGESTIONS

Au terme de cette étude sur l'impact foliaire de deux biopesticides sur la dynamique des ravageurs du haricot vert dans les conditions agro écologiques de Katibougou nous pouvons conclure :

- Les rendements ont été plus élevés au niveau des parcelles ayant bénéficié du traitement phytosanitaire avec les extraits de plantes particulièrement la variété Cora avec un rendement maximum de 15,58t/ha contre 15,07t/ha pour son témoin.

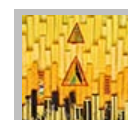
- Les populations des insectes ravageurs ont été très faibles au cours des périodes d'observation et *Bemisia tabaci* a été le ravageur le plus important en terme numérique.

- Les formulations F1 (Park + Mor + Ca + Lep + Koby + Bk) et F2 (Park + Sec + Ca + Lep + Koby + Bk) au cours des deux semaines d'observation après le traitement phytosanitaire ont donné des pourcentages d'efficacité satisfaisants compris entre 64 et 96%.

Au regard des résultats concluants, l'étude doit être poursuivie pour confirmer ou infirmer les résultats ainsi obtenus et proposer des formulations à base d'extrait de plante pouvant constituer d'alternative aux pesticides chimiques de synthèse.

REFERENCES

- [1] B. A. Ahonon, H. Traore et J. I. Ipou, «Mauvaises herbes majeures de la culture de haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) dans la Région du Moronou au Centre-Est de la Côte d'Ivoire,» *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 12, n° %11, pp. 310-321.
- [2] P. M. Kimani, «Le haricot vert, source de revenu pour les petits agriculteurs d'Afrique de l'Est,» *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*, n° %131, p. 2, 2006.
- [3] J. Deravel, K. François et P. Jacques, «Les biopesticides, compléments et alternatives aux produits phytosanitaires chimiques (synthèse bibliographique),» *Biotechnologie, agronomie, société et environnement*, 2013.
- [4] S. Krief, *Métabolites secondaires des plantes et comportement animal: surveillance sanitaire et observations de l'alimentation des chimpanzés (*Pan troglodytes schweinfurthii*) en Ouganda. Activités biologiques et étude chimique de plantes consommées*, 2003.
- [5] B. B. Yarou, P. Silvie, F. Assogba Komlan, A. Mensah, T. Alabi, F. Verheggen et F. Francis, «Plantes pesticides et protection des cultures maraichères en Afrique de l'Ouest (synthèse bibliographique),» *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, vol. 21, n° %14, pp. 288-304, 2017.
- [6] B. W. Amoabeng, G. M. Gurr, C. W. Gitau, H. I. Nicol, L. Munyakazi et P. C. Stevenson, «Tri-trophic insecticidal effects of African plants against cabbage pests,» *PloS one*, vol. 8, n° %110, 2013.
- [7] F. O. Silvério, E. S. de Alvarenga, C. S. Moreno et M. C. Picanço, «Synthesis and insecticidal activity of new pyrethroids,» *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, vol. 65, n° %18, pp. 900-905, 2009.



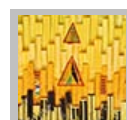
[8] P. Anjarwalla, S. Belmain, P. Sola, R. Jamnadass et P. Stevenson, «Guide des plantes pesticides,» *Agroforestry Centre (ICRAF)*, 2016.

[9] C. F. Henderson et E. W. Tilton, «Tests with acaricides against the brown wheat mite,» *Journal of Economic Entomology*, vol. 48, n° 12, pp. 157-161, 1955.

[10] Technisem, «Haricot CORA (*Phaseolus vulgaris* L.):Variété naine de type Mangetout très productive».

[11] P. Silvie et P. Martin, «Les plantes pesticides au secours des cultures,» 2017.

[12] E. Kulimushi, «Evaluation des effets d'insecticides botaniques sur les pucerons noirs du haricot (*Aphis fabae*) a Goma en République Démocratique du Congo,» *Cahiers Africains des Droits de l'Homme et de la Democratie*, pp. 365-380, 2014.



Résilience au changement climatique par la valorisation des ressources locales et l'intégration agriculture/élevage: cas du phosphate naturel de tilemsi, mucuna et maïs

Alou Coulibaly^{1*}, Hawa Coulibaly², Aliou Badara Kouyate¹, Sidiki Gabriel Dembele¹ et Adama Kindo³

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

²Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou, Département des Sciences et techniques animales

³Direction Nationale des Eaux et Forêts

*Auteur correspondant : coulibalynalou@gmail.com

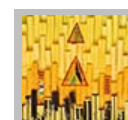
RESUME : Au cours de ces 50 dernières années les systèmes de cultures actuelles ont abouti à l'épuisement des sols et à la dégradation des pâturages. Aussi la pauvreté caractéristique de la plupart des sols tropicaux s'exprime principalement par la pénurie de l'azote et du phosphore assimilable et se traduit par la limitation de la production agricole. Pour contribuer à la mise au point d'un système de culture pouvant gérer au mieux la fertilité des sols et la disponibilité tant quantitativement que qualitativement du fourrage, une étude a été conduite à l'IPR/IFRA de Katibougou sur le système de cultures associées maïs- Mucuna avec apport de phosphate naturel de Tilemsi. L'expérimentation a été conduite en blocs de Fisher avec dix (10) traitements en trois (3) 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 la meilleure date de semis dans le système d'association Maïs/Mucuna serait le maïs semé 15 jours avant le Mucuna et le maïs et le mucuna semés simultanément. Ces systèmes ont permis d'avoir le meilleur rendement maïs-grain (1,9t/ha) et le meilleur rendement de biomasse sèche du mucuna (8,4t/ha), indépendamment du niveau de phosphore. Les résultats montrent aussi une augmentation de la teneur de l'azote dans les graines et biomasses sèches du maïs associé par rapport au maïs pur de l'ordre de 2,3% et 6,03%, mais avec une diminution de sa teneur avec le niveau de phosphore. Les systèmes de cultures stimulent également l'assimilabilité du phosphore du phosphate naturel de Tilemsi (8,19% contre 3,39 % pour l'échantillon témoin) qui croît avec le niveau de phosphore apporté. Ces tendances peuvent être expliquées d'une part par le transfert de l'azote de la légumineuse à la non légumineuse et d'autre par une stimulation de la vie microbienne par l'importante biomasse rhizosphérique fournie par le mucuna. Elles concordent avec celles obtenues par de nombreux autres entres autres [1] et [10]. La synthèse des résultats permet de conclure que l'association maïs/mucuna permet une meilleure intégration agriculture/élevage. Cependant son efficacité dépend largement du meilleur choix de la date de semis des composantes de l'association. Pour cela, la date recommandable serait le semis du maïs et du mucuna simultanément.

Mots clés: Mucuna, PNT, Fertilité du sol, fourrage, système de culture, rendement.

I. INTRODUCTION

Pendant longtemps, les paysans d'Afrique au Sud du Sahara en général et du Mali en particulier, pratiquaient le système de culture itinérante avec une courte période de culture et de longues périodes de repos (jachère). Cependant cette tendance fut par la suite inversée au cours des cinquante (50) dernières années où la durée des jachères a dramatiquement été réduite. Cette réduction des périodes de jachère, combinée à d'autres phénomènes comme le déboisement abusif des ressources ligneuses constituent de nos jours l'une des causes de l'épuisement des terres cultivées dans des zones où les paysans démunis ne peuvent se payer le luxe d'utiliser les engrais minéraux à hauteur souhaitée (1 kg d'engrais coûtant souvent 3 fois plus cher que 1 kg de sorgho, mil ou maïs). A ces maux s'ajoute aussi la pratique d'un élevage traditionnel essentiellement tributaire du pâturage naturel dont la

qualité et la quantité restent problématiques, occasionnant une dépendance plus grande de l'élevage vis à vis de l'approvisionnement en protéine complémentaire généralement importées [1]). Dans ces conditions, la seule alternative viable en vue de conserver ou de maintenir la fertilité du sol demeure l'utilisation des substances fertilisantes locales (fumures organiques) et la pratique de systèmes de cultures, notamment celui des associations de cultures en occurrence celles des céréales-légumineuses, qui offrirait non seulement une occupation rationnelle de l'espace, mais aussi contribuerait à travers la composante légumineuse à enrichir le sol en azote et à augmenter la teneur de la non légumineuse en azote, élément essentiel des protéines [1, 2]. A ce titre, Mucuna pruriens. Var. Cochinchinensis, répond bien aux besoins de la cause [3]. Au Mali, les études jusque-là menées sur le Mucuna ont essentiellement porté sur son



utilisation comme engrais vert (enfouissement au stade floraison); ce qui constitue un manque à gagner pour l'élevage. Ainsi dans le souci d'une meilleure intégration agriculture- élevage avec l'objectif de contribuer à la résolution du double problème de maintien de la fertilisation des sols et la satisfaction des besoins en protéines du bétail que nous avons mené cette étude.

II. OBJECTIFS

2.1 Général

Contribuer à rendre moins assujettis les agropasteurs de l'apport externe à leurs exploitations agricoles familiales

2.2 Spécifiques

- * déterminer la meilleure date d'installation des deux cultures
- * Déterminer la contribution du phosphate naturel de Tilemsi à l'élaboration du rendement des composants de l'association
- * mettre en évidence l'impact du système sur l'assimilabilité du phosphate naturel de Tilemsi
- * établir l'impact de l'association sur la valeur nutritive fourragère des résidus de récolte du maïs

III. MATERIEL ET METHODES

3.1 Matériel

3.1.1 Site d'étude et Sol

L'expérimentation a été conduite à Katibougou/Koulikoro (2ème région administrative du Mali), situé à 70 km de Bamako. Ses coordonnées géographiques sont les suivantes: 12°56N; 7°32O, 326 m d'altitude. Le climat est de type sahélo-soudanien, isohyète 900 mm. La végétation est essentiellement composée d'espèces ligneuses, dont les principales sont: *Cesalpiniaceae*, *Combretaceae*, *Meliaceae*, *Mimosaceae*, *Rhamnaceae*, *Sapotaceae* et *Sterculiaceae*. Le sol est de type ferrugineux tropical lessivé à texture sablo-argileuse. Ce sol est pauvre en matière organique, azote, phosphore, moyennement riche en potassium et faiblement acide.

3.1.2 Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué du *Mucuna pruriens*, variété *cochinchinensis* et du maïs, variété Niéléni (DMRESRI) dont les semences ont été produites à l'IPR/IFRA.

3.1.3 Engrais utilisés

Les engrais utilisés sont : le phosphate naturel de Tilemsi (28% de P_2O_5) apporté à la dose de 150 à kg/ha et 300 kg/ha, l'urée (46 % d'azote) apportée à la dose de 50 kg/ha, dont la moitié à la levée des premiers plants et l'autre moitié à l'apparition de l'inflorescence mâle.

3.2 Méthodes

3.2.1 Facteurs étudiés et traitements

L'essai est factoriel avec deux facteurs : le système de culture, pris à 5 niveaux de variation et la fertilisation phosphatée, prise à 2 niveaux de variation.

La combinaison de différents niveaux de variation des facteurs étudiés donne dix (10) traitements portés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Traitements

Facteur système de culture	1 : de	Facteur 2 : Doses de PNT (kg/ha) et N° traitement
Maïs pur	150	1
	300	2
Mucuna pur	150	3
	300	4
Maïs Semé 15 jours avant Mucuna	150	5
	300	6
Maïs Semé 15 jours après Mucuna	150	7
	300	8
Maïs et Mucuna semés simultanément	150	9
	300	10

3.2.2 Dispositif expérimental

L'expérimentation a été conduite en blocs de Fisher en trois répétitions. La distance entre les blocs était de 1,5 m et celle entre parcelles élémentaires était de 0,5 m. La superficie de l'unité expérimentale était de 20 m² (5 m X 4 m). Les écartements appliqués sont de 80 cm x 50 cm pour le Mucuna et 80 cm x 40 cm pour le maïs. Les parcelles élémentaires à cultures associées comprenaient cinq lignes de maïs intercalées de quatre lignes de Mucuna.

3.2.3 Collecte des données

* sur le rendement grains du maïs et celui de la biomasse sèche du mucuna. Les évaluations ont été faites à partir de la surface utile, puis extrapolées à l'hectare :

- le rendement de la biomasse sèche au stade floraison, chez le Mucuna: Au stade de la floraison, la biomasse aérienne des plantes a été fauchée et séchée à l'ombre. Par pesée, le poids a été déterminé.

- le rendement du maïs : 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.

* Sur la fertilité du sol : des échantillons de sol furent prélevés de 0 à 15 cm et de 15 à 30 cm de profondeur et analysés au laboratoire, avant l'implantation de l'essai et à la récolte.

- Sur la teneur de l'azote dans les plantes : un échantillon par espèce et par traitement fut prélevé au hasard pour la détermination de la teneur de l'azote total.



3.2.4 Analyse des données

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 le sorgho, 1996-1997 ; la jachère, 1997-1999.

4.2 Conditions climatiques

La quantité totale de pluies recueillies a été de 1109,2 mm avec les plus grandes quantités recueillies en juillet et août respectivement 204,2 et 415,1mm. La température moyenne enregistrée a été de 29,6° C.

4.3 Techniques culturales

Les techniques culturales appliquées sont restées conformes aux pratiques de la zone.

V. RESULTATS

Les résultats réalisés portent sur les caractéristiques chimiques du sol, le rendement grain du maïs, la biomasse sèche du mucuna, la teneur de l'azote dans les graines du maïs et la biomasse sèche tant du maïs que le mucuna, la teneur du phosphore total et assimilable et le pH du sol.

5.1 Caractéristiques du sol

Les données collectées sur les caractéristiques du sol figurent dans le tableau 2.

Tableau 2: Caractéristiques du sol avant et après implantation de l'essai

Caractéristiques Traitements	P _{total} , %0		P _{ass} , %0		pH	
	0-15	15-30	0-15	15-30	0-15	15-30
Échantillon moyen (avant l'implantation)	230,9	4,2	158,	3,39	6,6	6,2
T1: maïs pur + P150	139,60	163,37	11,2	8,2	5,1	5,4
T2: maïs pur +P300	184,2	157,4	36,5	6,3	5,4	5,6
T3: mucuna pur+ P150	169,3	175,3	7,8	4,1	5,6	6,1
T4: mucuna pur +P300	163,4	222,8	18,6	10,1	5,0	5,5
T5: maïs 15 j avant mucuna + P150	157,4	157,4	15,5	5,03	4,8	5,6
T6 : maïs 15 j avant mucuna +P300	187,1	157,4	24,2	7,1	4,9	5,8
T7: maïs 15 j après mucuna + PNT150	157,43	199,	6,7	6,7	5,3	5,6
T8: maïs 15 j après mucuna + PNT300	216,8	163,4	17,1	6,3	5,8	5,9
T9: maïs simultanément mucuna +PNT150	222,8	187,1	80,4	21,0	5,1	5,2
T10: maïs simultanément mucuna +PNT300	160,4	222,8	14,9	7,1	5,0	4,9

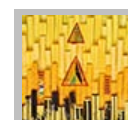
➤ Phosphore (P₂O₅)

Nous constatons que le phosphore indépendamment de sa forme reste plus élevé dans l'horizon 0 – 15 cm qu'à 15 – 30 cm avant l'intervention qu'après la récolte. Cette tendance est aussi indépendante du système de culture. La teneur du phosphore total dans la couche de 0-15 cm varie de 139,6% (T1) à 222,8% (T9) et au niveau de 15-30 cm, elle va de 157,4% (T2, T5, T6) à 222,8% (T4, T10). Nous constatons que les teneurs du phosphore assimilable sont plus élevées dans la couche 0-15 cm : 6,7% (T7) à 80,43% (T9), comparativement à la couche 15-30

cm: 4,1% (T3) – 21,% (T9). Le phosphore assimilable est plus élevé dans l'horizon 15 – 30 cm à la récolte qu'avant l'intervention de l'ordre de 0,7 (T3) à 17,7 (T9).

➤ pH du sol

Les résultats du tableau 2 montrent que la réaction au sol a subi un virement de faiblement acide (6,20 à 6,60) à acide (4,80). L'acidité diminue avec la profondeur quel que soit le système de culture (5 contre 5,6 en moyenne). L'apport de 150 unités de PNT semble mieux neutraliser l'acidité du sol (5,6 -



6,1 contre 5.1 et 5.4). La valeur du pH augmente dans les systèmes mucuna pur et mucuna semé simultanément. Le semis simultané du maïs et du mucuna avec 300 unités de PNT semble acidifier le sol en profondeur (4,90).

5.2 Rendement maïs grains

Les résultats relatifs aux rendements maïs grain sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Rendement maïs grain (kg/ha)

Variable Facteurs	Rendement Kg/ha	
F1	Maïs Pur	2305 a
	Maïs semé 15 j avant le mucuna	1916 b
	Maïs semé 15 j après le mucuna	197 d
	Maïs et Mucuna semés simultanément	1197 c
F2	PNT (150 kg/ha)	1194 b
	PNT (300 kg/ha)	1613 a
Moyenne générale	1404	
F1	HS	
F2	HS	
CV%	13,3	

La physionomie des résultats met en évidence un effet hautement significatif des deux facteurs sur le rendement grain du maïs. Le facteur 1 manifeste quatre groupes homogènes d'ordre décroissant : maïs pur > maïs semé 15 j avant mucuna > maïs et mucuna semés simultanément > maïs semé 15 j après mucuna. Le facteur 2 indique l'ordre décroissant : P₂O₅ (300 kg/ha) > P₂O₅ (150 kg/ha). Nous constatons que les systèmes semis 15 j avant le mucuna ou le semis simultané contribueraient mieux à l'élaboration du rendement comparativement au semis du maïs 15 j après le mucuna. La dose de 300 kg/ha de phosphore naturel a plus contribué à l'élaboration du rendement avec 1613 Kg/ha contre 1194kg/ha pour la dose 150 Kg/ha. L'analyse statistique n'indique pas d'effet d'interaction.

5.3 Rendement biomasse sèche du mucuna

Les résultats relatifs aux rendements de la biomasse sèche du mucuna sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Rendement biomasse sèche mucuna (kg/ha)

Variable Facteurs		Biomasse sèche (kg/ha)
F1	Mucuna pur	12052 a
	Mucuna semé 15 j avant le maïs	7851 bc
	Mucuna semé 15 j après le maïs	5742 c
	Mucuna et Maïs Semé simultanément	8442 b
F2	PNT 150	7847 b
	PNT 300	9196 a
Moyenne générale		8522
F1		HS
F2		S
CV%		20,1

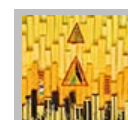
L'analyse de variance indique un effet hautement et simplement significatif respectivement des systèmes de culture et des doses de phosphore. Le test de Neman KEULs permet de constater que le mucuna semé 15 jours après le maïs produit moins de biomasse sèche. Cet effet inhibiteur est moins accentué lorsqu'il est semé 15 jours avant le maïs ou simultanément au maïs. L'apport de 300 unités de PNT améliore le rendement en fane du mucuna.

5.4 Effets moyens des facteurs sur la teneur de l'azote dans les plantes

Les résultats sur ce paramètre sont consignés dans le tableau 5.

Tableau 5: Teneur en azote total du maïs grain, biomasse sèche maïs et biomasse sèche Mucuna.

Facteurs1 : Système de culture	Facteurs 2 : Doses PNT (kg/ha)	Maïs grain (N %)	Biomasse sèche maïs (N %)	Biomasse sèche Mucuna (N %)
Maïs Pur	150	8,40	4,48	-
	300	8,96	1,40	-
Mucuna Pur	150	-	-	39,20
	300	-	-	30,52
Maïs semé 15 jr avant Mucuna	150	10,92	9,80	46,48
	300	10,92	6,16	14,34
	150	9,52	10,92	26,60



Maïs semé 15 jr après Mucuna	300	12,04	9,24	16,80
Maïs et Mucuna semés simultanément	150	12,60	9,80	33,60
	300	9,80	6,72	29,40

Les données collectées sur la teneur de l'azote indiquent des valeurs élevées dans les systèmes associés de l'ordre en moyenne de 10,78 % (maïs 15 j après mucuna) à 11,20 % (semis simultané) contre 8,68 % en culture pure dans les graines. La teneur de l'azote varie de 7,98 % (maïs 15 j avant mucuna) à 10,08 % (maïs 15 j après mucuna) contre 2,94 % en culture pure dans la biomasse sèche du maïs indépendamment de la période d'installation. Toutefois nous constatons que le maïs semé 15 j après le mucuna a sensiblement accumulé plus d'azote dans la biomasse. La dose de 150 kg/ha de PNT indépendamment du système de culture a la plus globalement contribué à l'accumulation de l'azote avec 8,40 % (maïs pur) - 12,60 % (semis simultané) contre 1,40 % (maïs pur) - 10,92 % (maïs 15 j après mucuna) respectivement dans les graines et la biomasse sèche du maïs. L'accumulation de l'azote dans la biomasse sèche de mucuna a varié de 21,70 % (mucuna 15 j avant maïs) à 34,86 % (mucuna pur). La dose de 150 kg/ha de PNT indépendamment du système de culture a la plus globalement contribué à l'accumulation de l'azote avec 26,60 % (mucuna 15 j avant maïs) et 46,48 % (mucuna 15 j après maïs) contre 14,34 % (mucuna 15 j après maïs) et 16,80 % (mucuna 15 j avant maïs) pour la dose 300 kg de PNT/ha. La même tendance s'observe au niveau de la culture pure du mucuna : 39,20% pour la dose 150kg/ha et 30,52 % pour 300 kg /ha. La teneur de l'azote semble diminuée dans la biomasse sèche du maïs et du mucuna avec l'apport de 300 unités de PNT par hectare.

VI. DISCUSSION

L'efficacité des associations céréales-légumineuses dans l'amélioration de la fertilité du sol et la durabilité des systèmes de productions n'est plus à démontrer [4, 5]

6.1 Rendement maïs grain

L'étude avait pour objectif d'évaluer les effets de l'association maïs-mucuna sous deux niveaux de variation de la fertilisation à base du phosphore naturel sur le rendement grain et biomasse sèche du maïs. Les résultats mettent en évidence un effet hautement significatif du système de culture et le phosphore tant sur le rendement grain que biomasse sèche du maïs. Le système pur s'est distingué de l'association maïs mucuna. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par d'autres auteurs [4, 6]. Les travaux de [6] ont montré que l'association de la

légumineuse au maïs entraîne une baisse de rendement du maïs par rapport à sa culture pure. Nos résultats pourraient s'expliquer par le décalage de semis entre le maïs et les légumineuses qui a réduit le degré de compétition pour les ressources du sol entre les composantes de l'association. Les travaux de [7] ont montré que le décalage de semis entre le maïs et le voandzou permettrait une meilleure utilisation des ressources du sol et par conséquent, une amélioration de la productivité des cultures associées. D'autres travaux ont montré une baisse pour le maïs associé au mucuna de 50 % par rapport à la culture pure [8]. Ce résultat peut être dû au fait que le mucuna est une légumineuse volubile et envahissante, qui a cette faculté de grimper sur les pieds de maïs.

6.2 Rendement biomasse sèche du mucuna

Le supplément de biomasse issue des légumineuses permet d'accroître de façon non significative de 10 à 43 % la production totale de fourrage sur les parcelles d'association par rapport à la parcelle de culture pure de maïs. Ce fourrage issu de céréale et de légumineuse est jugé plus riche en nutriments pour l'alimentation des animaux par rapport à la paille de céréale seule [9]. Globalement, on peut dire que le maïs peut être associé aux légumineuses sans que son rendement ne baisse significativement

6.3 Fertilité du sol

La teneur élevée du phosphore assimilable dans les systèmes de cultures associées pourrait s'expliquer par une stimulation de la vie microbienne par l'importante biomasse rhizosphérique fournie par le mucuna seul et/ou associé au maïs.

L'augmentation de l'acidité du sol en profondeur sous le semis simultané du maïs et du mucuna avec 84 unités de phosphore semblent s'expliquer par la capacité des exsudats racinaires du maïs à augmenter significativement la réaction du sol par rapport au mucuna pur.

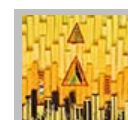
6.4 Teneur de l'azote dans les plantes

Les tendances de la teneur de l'azote dans les plantes peuvent être expliquées par le transfert de l'azote de la légumineuse au non légumineux. Elle concorde avec celle obtenue par de nombreux auteurs entre S. G. Dembélé; A. G. Tréchov; Sogodogo [10] E. P. Trépatchev (1987 [1]); Y. Dommergues, F. Manganot (1970) [2].

VII. CONCLUSION

Il ressort de cette étude que :

* les deux composantes (maïs et mucuna) du système de culture influent négativement l'une sur l'autre quand elles sont semées 15 jours l'une après l'autre. Cependant dans le souci de résoudre le double problème de maintien de la fertilité des sols et la diversification des ressources fourragères, il serait mieux de les semer simultanément. Le semis du maïs



15 jours après le mucuna donne 197 kg.ha¹ comparativement au maïs pur et maïs semé 15 jours avant le mucuna qui donnent respectivement 2305 et 1916 kg.ha¹. Le mucuna semé 15 jours après le maïs donne 5742 kg.ha¹ de biomasse sèche, or le mucuna pur donne 12052 et le mucuna semé 15 jours avant le maïs donne 7851kg.ha¹.

*la culture du maïs pur et le maïs semé 15 j avant le Mucuna stimulent l'assimilabilité du phosphore des phosphates naturels de Tilemsi.

* la réaction au sol a subi un virement de faiblement acide (6,20 à 6,60) à acide (4,80). L'apport de 42 unités de phosphore semble mieux neutraliser l'acidité du sol (5,6 - 6,1 contre 5.1 et 5.4)

REFERENCES

1. P. TREPATVHEV, 1987. L'azote biologique des légumineuses et le rendement des non-légumineuses.
2. Y. DOMMERGUES, G. MARGENOT, 1970. La biologie agricole, N°1, pages : 43-50.
3. F. TRAORE, 1983. Contribution à l'étude du Mucuna attrrina, plante fourragère tropicale exotique. Mémoire de fin d'étude, IPR de Katibougou.
4. G. LAWANE, S. P. SOUGNABÉ, V. LENDZEMO, F. GNOKREO, N. DJIMASBEYE and G. NDOUTAMIA, 2010. Efficacité de l'association des céréales et du niébé pour la production de grains et la lutte contre Striga hermonthica (Del.). L. Seiny-Boukar, P. Boumard. Savanes africaines en développement : innover pour durer, Garoua, Cameroun, <cirad-00471450>
5. K. COULIBALY, M. KOUTOU, M. A. DIALLO and M. SANGARE, 2017. Performances agro-économiques de la micro-dose d'engrais sur les cultures associées en zone cotonnière de l'Ouest du Burkina Faso, Inter. Jour. Innov. Appl. Stud. (IJAS), N° 20 (1), pages: 170 - 186
6. K. COULIBALY, E. VALL, P. AUTFRAY and P. M. SEDOGO, 2012. Performance technico-économique des associations maïs/niébé et maïs/mucuna en situation réelle de culture au Burkina Faso : potentiels et contraintes, Tropicultura, N° 30 (3), pages : 147 - 154
7. N. J. KOUASSI, D. C. TONESSIA, J. G. SEU, D. F. SOKO and K. AYOLIE, 2016. Influence du décalage de semis du maïs (*Zea mays* L.) et du voandzou (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.) sur leur production en zone savanicole de la Côte d'Ivoire, J. Appl. Biosci., N°102, pages : 9745 - 9755
8. Z. SEGDA, V. HIEN and M. BECKER, 2000. Mucuna cochinchinensis dans les systèmes d'association et de rotation culturale au Burkina Faso, in: Ch. Florent, R. Pontanie (éditeurs). La jachère en Afrique tropicale, John Libbey-Eurotext. Paris.
9. B. OUATTARA, M. SANGARE and K. COULIBALY, 2016. Options pour une intensification durable de la production agricole et fourragère dans le système de production agropastoral des zones cotonnières du Burkina Faso, Science et Technique, Spécial hors-série, N°2, pages:133 - 151
10. S.D. DEMBELE, A.G. TRECHOV, M.D. SOGODOGO, 1991. Les légumineuses et le problème de protéine dans l'alimentation animale. « thème de recherche traité »



Estimation de la réserve utile (RU) en eau à partir des caractéristiques granulométriques des sols : Cas de Neguela

Karim Traore et Kya Abraham Berthé

Faculté des Sciences Techniques, Université des sciences techniques et technologiques de Bamako

Email : katrao52001@gmail.com

RESUME: La gestion des eaux souterraines reste un challenge pour la résolution du problème de résilience face au varions climatique et général et surtout au sahel et plus particulièrement au Mali. Cependant, la détermination classique de la réserve utile en eau du sol est onéreuse du fait qu'elle exige un temps énorme avant la production des résultats. Les formules de pédo-transfert qui sont des modèles de prédiction de la rétention en eau du sol à partir des paramètres physico-chimiques facilement quantifiables peuvent constituer des alternatives rapides pour estimer la réserve en eau des sols. La présente étude a pour objectif de prospecter une voie alternative pour estimer la réserve utile en eau des sols à partir de la texture et l'humidité des sols. La méthodologie utilisée dans ce projet, consiste à caractériser le site d'étude en déterminant la texture et l'humidité dans le but de mettre au point un modèle de pedo-tranfert pour quantifier rapidement la RU des sols. Les résultats de simulation et pratique de la méthodologie obtenu propose dans cet article est que la méthode classique.

Mots clés: Sol limoneux; Réserve en eau utile (RU); Granulométrie; Neguela; fonction Pédo-transfert, gestion des réserves en eau.

I. INTRODUCTION

Cette étude vise à estimer la réserve en eau (RU) des sols utilisable par les plantes par deux techniques: l'une basée sur la texture des sols et l'autre sur la mesure de l'humidité du sol.

La présente étude se propose de prospecter une autre voie pour mettre au point un outil d'estimation de la réserve en eau utile des sols à partir des données atmosphériques et de l'humidité du sol du site météorologique de Néguela.

L'objectif général est de produire une fonction de pédo-transfert dans le but d'estimer la réserve utile RU à partir des caractéristiques granulométriques des sols.

Les objectifs spécifiques ont consisté à: Caractériser le site d'étude, Estimer la RU par mesure de l'humidité du sol, Estimer la RU par fonction de pédo-transfert (FPT).

II. MATERIELS ET METHODES:

2.1 Localisation du site: La zone d'étude est dans la forêt classée de Néguela. Cette forêt classée se situe à 60km environ à l'Ouest de Bamako. Elle se trouve sur la route Nationale Kati - Kita où sa limite a été définie par la Direction Nationale des Eaux et Forêts [10]. Elle couvre environ 70.000ha et appartient au plateau Mandingue situé dans le haut bassin du fleuve Sénégal, entre les méridiens 8°30' - 8°40'W et les parallèles 12°50' - 13°08N [10].

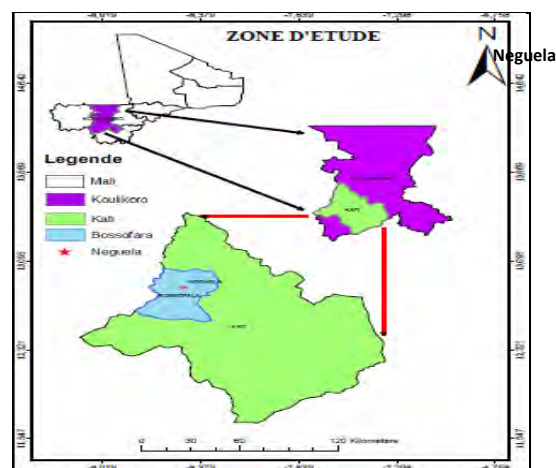


Figure1: La carte indiquant la zone d'étude.

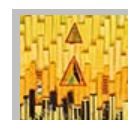
2.2 Climat et Indice d'Aridité du site: La zone d'étude appartient au domaine du climat soudanien avec des saisons contrastées.

Une saison sèche marquée et longue d'Octobre à Avril;

Une saison des pluies d'Avril à Octobre.

La pluviométrie se caractérise par une grande variabilité d'une année à l'autre et au cours d'une même année d'un endroit à l'autre. Les variations par rapport à la normale sont maximales en juin et en septembre.

La moyenne annuelle est de 1000mm à Néguela [10].



Coordonnées des stations:

NÉGUÉLA:

Latitude: 12°51'

Longitude: 8°26'

2.3 Echantillonnage et propriétés physiques du sol d'étude: 65 échantillons de sol ont été prélevés à la profondeur de 0 à 10 cm à Néguela pour des fins d'analyses.

Les analyses ont porté sur la mesure de la: Densité apparente (cylindre: $D=5,54\text{cm}$; $h=4\text{cm}$; $V=96,57\text{cm}^3$), Granulométrie, Teneur en eau à pF3 et pF4,2.

2.4 Préparation des échantillons: Séchage à l'air libre: Dès leur arrivée, les échantillons de sols sont déballés et séchés à l'air libre sans être exposés au soleil.

Terre fine:

Les échantillons, après séchage à l'air sont broyés et tamisés au tamis de 2mm. La terre obtenue après ce tamisage est la terre fine, elle servira dans la plupart des dosages [11]

2.5 Mesures du contenu en eau du sol:

2.5.1 Méthode de détermination de la teneur en eau: L'humidité du sol détermine de façon essentielle la variation des caractéristiques de différents matériaux ou sols. Ces caractéristiques concernent aussi bien les intrants solides que liquides qui vont pénétrer dans le sol.

a) Principe: Pour une sédimentation complète d'une courbe de rétention d'eau d'un sol, on a besoin des valeurs d'humidité au pF : 2,5; 3 et 4,2. Pour la détermination de l'humidité pF 3 ou 4,2, l'échantillon est posé dans un extracteur et mis sous pression. L'humidité restante est déterminée en mesurant la perte de poids après séchage à l'étuve à 105°C. En traçant les pourcentages d'humidité contre les valeurs correspondantes de pF, on obtient la courbe pF.

b) Mode opératoire

➤ Méthode avec extracteur (pF 3 - pF 4,2):

Saturer une plaque céramique de 1 bar et une plaque de 15 bars pendant une nuit en les plaçant dans un bain d'eau. Mettre la plaque dans une lame d'eau de 0.5 cm, les anneaux numérotés en plastique sur la plaque et transférer le sol dans les anneaux, les plaques dans l'extracteur correspondant. Faire monter lentement la pression à 1 bar pour pF 3 et à 15 bars pour pF 4,2. Attendre l'équilibre, recueillir chaque jour l'eau drainée dans une éprouvette de 10 ml. L'équilibre est atteint lorsque le drainage d'eau s'est arrêté (Normalement dans 2 ou 3 jours).

Lorsque l'équilibre est atteint, fermer le tuyau du drain pour empêcher le refoulement de l'eau dans la terre. Diminuer lentement la pression, puis ouvrir les extracteurs et enlever les plaques. Mettre le sol dans des petites boîtes métalliques avec couvercles, tarées d'avance (P_T). Bien numérotiser les sols et leurs boîtes. Peser les boîtes avec les sols humides (P_H) et les passer à l'étuve à 105°C pendant une nuit. Le lendemain enlever les échantillons de l'étuve, mettre les couvercles, laisser refroidir pendant 30 minutes dans un dessiccateur et peser (P_S). [11]

$$\% \text{ humidité} = (P_H - P_S) / (P_H - P_T) * 100$$

P_T = Tare de la boîte (+ couvercle) ou de l'anneau (+ récipient) en gr.

P_H = Poids de terre + Tare avant séchage à l'étuve

P_S = Poids de terre + Tare après séchage à l'étuve

Précision humidité : 1 % près.

Remarques

Le sol séché à l'étuve est très hygroscopique, et attire rapidement l'humidité de l'air. Il est donc nécessaire de peser les échantillons le plutôt possible après le séchage à l'étuve et après refroidissement dans le dessiccateur.

➤ Méthode gravimétrique à l'étuve

L'eau retenue par la terre après le séchage à l'air libre ou par le matériel végétal après le séchage à 65°C est déterminée en mesurant la perte du poids après séchage à l'étuve à 105°C. [11]

Peser environ 5 g de sol séché à l'air libre dans une boîte en aluminium avec couvercle, tarée d'avance (P_T). Noter le poids exact (P_H). Passer à l'étuve à 105°C pendant une nuit. Enlever les échantillons de l'étuve, mettre les couvercles et laisser refroidir pendant 30 mn, dans un dessiccateur et peser (P_S). [11]

$$\% \text{Humidite} = \frac{(P_H - P_S)}{(P_H - P_T)} * 100$$

P_T = tare de boîte (+couvercle) en grammes

P_H = poids de la terre + boîte avant séchage à l'étuve

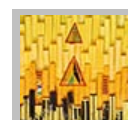
P_S = poids de la terre + boîte après séchage à l'étuve

Précision humidité: 1 % près

Précision facteur de correction : 0.01 près

Remarque

Le sol et le matériel végétal séchés à l'étuve sont très hygroscopiques, et attirent rapidement l'humidité de l'air. Il est donc nécessaire de peser les échantillons



le plus tôt possible après le séchage à l'étuve, après refroidissement dans le dessiccateur.

2.5.2. Mesure granulométrique

a) Principe

L'analyse granulométrique a pour but de donner la composition élémentaire du sol en classant les particules minérales constituant les agrégats dans un certain nombre de fraction, et en dosant la quantité de particules appartenant à chacune d'elles.

Les groupes de diamètre supérieur à 0.05 mm sont séparés à l'aide de tamis d'ouverture de mailles différentes, et pesés. Pour les particules de diamètre inférieur à 0.05 mm, les tamis ne sont plus efficaces. Leur séparation est basée sur la différence de dépôt dans l'eau des particules de diamètres différents (voir 1^{ère} remarque). [11]

Deux méthodes sont utilisées, l'une plus détaillée, l'autre simple.

b) Mode opératoire

Peser 20g de fine séchée à l'air dans un flacon de 500 ml. Si le %C organique > 1%, détruire la matière organique. Dans ce cas, peser 20g de terre dans un erlenmeyer de 500 ml et ajouter 50 ml d'eau oxygénée. Laisser agir toute une nuit et le lendemain encore ajouter 20 ml d'eau oxygénée tout en chauffant au bain-marie jusqu'à la disparition de la mousse. Transférer le tout dans un flacon de 500ml.

Pour la méthode simplifiée, transférer le contenu du récipient directement dans une boîte tarée et peser pour obtenir le sable total. Amener la suspension à un litre avec de l'eau distillée et agiter énergiquement à la main pendant une minute environ par de nombreux retournements. S'assurer que tout le dépôt se trouvant au fond de l'allonge est entièrement remis en suspension.

$$PS = 20 / (f * fc).$$

PS / S doit être entre 0.98 et 1.02, sinon refaire l'analyse, f = facteur de correction pour l'humidité de l'échantillon séché à l'air libre.

$$f = \left(1 + \% \frac{\text{humidite}}{100}\right)$$

fc = facteur de correction, pour la matière organique. En tenir compte s'il y a eu effectivement destruction de la matière organique:

$$fc = \left(1 + 1,72 * \% \frac{C}{100}\right)$$

Remarque:

La vitesse de sédimentation de chaque particule est donnée par la loi de Stokes:

$$V = d^2 (D - D') * g / 18e$$

V = vitesse de sédimentation (cm/s), d = diamètre de la particule (cm), g = constante de la gravitation (9.8 m/s²), D = densité des particules (g/cm³), D' = densité de l'eau (g/cm³)

e = viscosité de l'eau (g/(cm.s)).

La suspension doit être diluée de telle manière que les grains de sols puissent se déposer sans se rencontrer, et sans se gêner mutuellement. Leur dépôt non plus, ne doit pas être influencé par les parois du cylindre [11].

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS:

3.1 Détermination de la valeur de pF4,2 ou du point de flétrissement permanent

Pour une sédimentation complète de la courbe de pF4, 2, on a besoin des valeurs de l'humidité du sol et de l'atmosphère. Pour déterminer ces valeurs, on utilise les données enregistrées par les capteurs du site de LOSSA installé à Néguela.

La méthode a consisté à élaborer un script dans le programme de Matlab pour trouver une régression temporaire de l'humidité du sol.

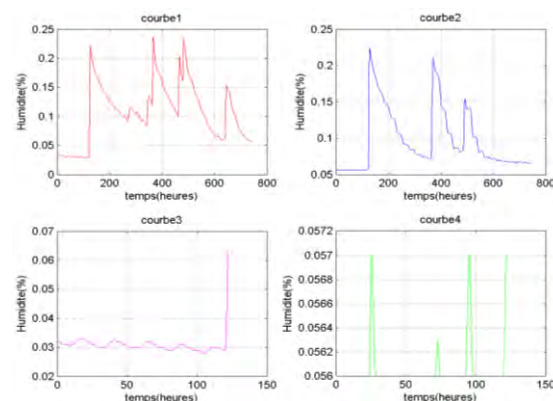


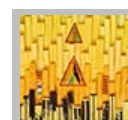
Figure3: Régression temporaire de l'humidité du sol.

Pour cela pendant un mois (Mai 2016) avec une semaine (du 1^{er} Mai au 6 Mai 2016) sans précipitations l'humidité a été mesurée en fonction du temps. A partir des valeurs horaires de l'humidité du sol à la surface (0-20cm) et à la profondeur (20-60cm) quatre (4) courbes sont obtenues en cherchant à établir une relation entre la variable humidité et la variable temps.

La première courbe représente la variation de l'humidité du sol à la surface (0-20cm) en fonction du temps.

La deuxième courbe représente la variation de l'humidité du sol à la profondeur (20-60cm) selon le temps.

La troisième courbe indique la valeur minimale du point de flétrissement à la surface (0-20cm) selon le temps.



La quatrième courbe indique la valeur minimale du point de flétrissement à la profondeur (20-60cm) en fonction du temps.

La présente étude est incluse dans la troisième courbe (0-20cm), donc la valeur du point de flétrissement mesure 0,03 qui correspond à celle mesurée au laboratoire.

3.2 Mesure de la réserve en eau utile(RUM): La réserve en eau du sol utilisable par les plantes correspond à la quantité d'eau stockée dans un certain volume de sol entre les valeurs d'humidité limites correspondant à la capacité au champ et au point de flétrissement permanent. L'estimation de la RU requiert la connaissance de quatre (4) paramètres [3].

$$RUM = (W1 - W2) * da * Z$$

W₁: l'humidité massique à la capacité au champ; **W₂:** l'humidité massique au point de flétrissement permanent; **da:** la densité apparente; **Z:** la profondeur du sol.

La réserve utile(RU) est définie comme le stock d'eau compris entre la capacité de rétention(CR) et le point de flétrissement (WP). Elle ne représente qu'une faible partie du stock d'eau totale du sol. La capacité de rétention(CR) est inférieure à la capacité de saturation(CS) humidité maximale d'un sol saturé d'eau et sa détermination n'est pas aisée.

Pour le point de flétrissement(WP), on considère généralement que la plus part des plantes atteignent le point de flétrissement permanent lorsque le potentiel de l'eau dans le sol est -16bars (pF=4.2). Mais l'humidité correspondante n'est pas mesurée in-situ.

La mesure d'un profil d'humidité du sol permet de déterminer le stock d'eau. Pour raisonner en termes de contenu de la réserve utile(RU), il faut pouvoir positionner ce profil par rapport à celui de la CR et du W_p. Il est en effet possible de mesurer des humidités supérieures à la CR. Ainsi, entre deux mesures, la variation de stock ne correspond pas à la variation de la RU car une partie de l'eau est perdue par drainage gravitaire rapide. Il est également possible de mesurer in-situ un taux d'humidité inférieur à celui déterminé au laboratoire à (pF=4.2). Il est donc nécessaire pour caler les modèles de déterminer in-situ le profil de la CR (méthode du drainage interne) et le profil d'humidité minimale.

Dans notre étude d'une part on s'est fixé l'hypothèse que la capacité au champ(CC), notion agronomique est classiquement définie comme l'humidité d'un sol ressuyé (ou séché) 48 heures après une pluie saturante. Dans le cas de ce sol à ressuyage

extrêmement rapide, l'humidité à 48heures est très éloignée de la capacité de rétention(CR).

3.3 Les classes texturales: La texture d'un sol correspond à la répartition dans ce sol des minéraux par catégorie de grosseur indépendamment de la nature et de la composition de ces minéraux. Les résultats de la texture nous ont permis d'identifier les types de sol de Néguela représentés dans le tableau n° 2, ci-dessous. L'analyse texturale des échantillons a montré que cette zone est à dominance limoneuse.

Tableau 2: Analyse de la classe texturale des dix échantillons.

N° Echantillon	%Sable	%Limon	%Argile	Classes Texturales
1	43	55	2	LF
2	41	57	2	LF
3	41	57	2	LF
4	45	55	0	LF
5	49	51	0	LS
6	46	54	0	LF

Cette classification a été réalisée à l'aide du triangle textural dont les trois côtés correspondent respectivement aux pourcentages de sable, de limon et d'argile.

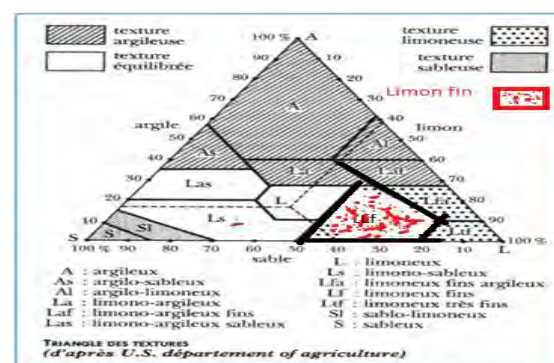


Figure4: Triangle des textures U.S.D.A (United States Department of Agriculture).

3.4. Corrélation et degré de signifiante entre RU et classes texturales

La corrélation est une technique qui permet d'étudier la relation qui pourrait exister entre deux variables quantitatives X et Y. Dans l'analyse d'une corrélation, il y'a deux données importantes: le coefficient de corrélation r; la valeur de probabilité pval.

Tableau3: Statistiques montrant la relation linéaire entre RU les classes texturales.



Variabes	N	r	pval
Sable grossier(Lg)	61	- 0,004	0,97
Limon grossier(Lg)	61	0,253	0,04
Limon fin(Lf)	61	- 0,286	0,02
Argile(Ar)	61	0,070	0,59

- ❖ L'analyse des données de la régression linéaire entre le sable grossier (Sg) et la réserve utile (RU) montre qu'il n'existe aucune relation entre la réserve utile et le sable grossier. Le coefficient de corrélation ($r = -0,004$) est faible.

La valeur de probabilité ($pval=0,97$) est supérieure à **0,05**, donc on accepte l'hypothèse nulle et on conclue que la corrélation observée entre Sg et RU est due au hasard.

- ❖ L'analyse des données de la régression linéaire entre limon grossier (Lg) et la réserve utile (RU) montre qu'il existe une relation entre la réserve utile et limon grossier. Le coefficient de corrélation ($r=0,253$) est d'intensité moyenne. Donc on dira que la relation linéaire entre Lg et RU est d'intensité moyenne.

La valeur de probabilité ($pval=0,04$) est **inférieure à 0,05**, on rejette l'hypothèse nulle et on conclue qu'une corrélation entre Lg et RU existe bel et bien au sein de la population.

- ❖ L'analyse des données de la régression linéaire entre limon fin (Lf) et la réserve utile (RU) montre qu'il existe une relation entre la réserve utile et limon fin. Le coefficient de corrélation ($r = -0,286$) est d'intensité moyenne. Donc on dira que la relation linéaire entre Lf et RU est d'intensité moyenne.

La valeur de probabilité ($pval=0,02$) est **inférieure à 0,05**, on rejette l'hypothèse nulle et on conclue qu'une corrélation entre Lf et RU existe bel et bien au sein de la population.

- ❖ L'analyse des données de la régression linéaire entre l'argile (Ar) et la réserve utile (RU) montre qu'il n'existe aucune relation entre la réserve utile et l'argile. Le coefficient de corrélation ($r=0,070$) est faible. Donc on dira que la relation linéaire entre Ar et RU est faible.

La valeur de probabilité ($pval=0,59$) est supérieure à **0,05**, on accepte l'hypothèse nulle et on conclue que la corrélation observée entre Ar et RU est due au hasard.

Les corrélations entre la réserve utile (RU) et les grandeurs Sg; Lg; Lf; Ar ont été réalisées grâce au logiciel Matlab dont le programme est donnée ci-dessous:

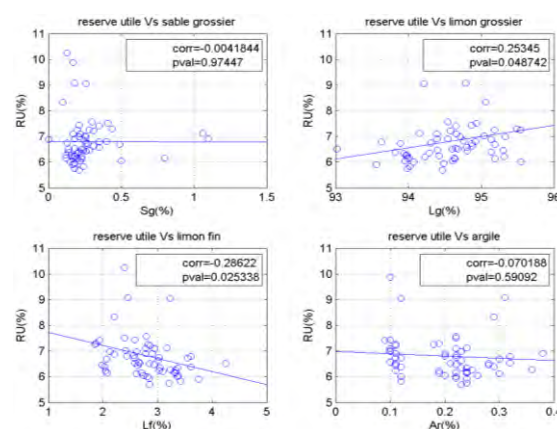


Figure 5: Courbe de régression linéaire entre RUM et Sg; Lg; Lf; Ar.

3.5 Estimation de la réserve utile (RU): L'eau dans le sol peut être appréciée dans son aspect statique en tant que teneur et dans son aspect dynamique (infiltration). L'eau du sol fait partie intégrante des facteurs d'appréciation de la fertilité du sol tout comme les éléments chimiques. La teneur en eau du sol est intimement liée à sa texture, à sa structure, à sa densité apparente et à son épaisseur [12].

La différence entre la capacité au champ et le point de flétrissement donne la réserve utile.

$$RUM = (HCC - HPFP) * Da * Z \quad [12]$$

H_{CC} : Humidité à la Capacité au Champ. H_{PFP} : Humidité au Point de Flétrissement Permanent (0,03 soit 3%), Da : Densité apparente du sol(1,95), Z : Profondeur d'enracinement en cm (10cm)

a) A partir de la texture et l'humidité

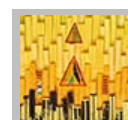
Des estimations rapides de la RU peuvent être effectuées à partir de la seule appréciation de la texture. En effet, cette méthode d'évaluation dite méthode des textures nécessite seulement:

- des données que l'observateur peut apprécier sur le terrain: l'épaisseur de l'horizon, la teneur volumétrique en éléments grossiers et de la texture de la terre fine (estimation par appréciation tactile ou par analyse granulométrique).

- des tables comme celles élaborées par le service de cartographie des sols de l'Aisne donnant pour chaque classe texturale une valeur de réservoir utilisable exprimée en mm d'eau pour 1cm d'épaisseur [13]

b) A partir de la fonction de pédo-transfert

La réserve utile en eau (RUE) peut être estimée aussi par une fonction de pédo-transfert continue(FPTC). Cette fonction est surtout basée sur les



caractéristiques granulométriques des sols (%Lg; %Lf)

Les FPT ont généralement la forme d'une relation mathématique entre la RU à une valeur donnée et les caractéristiques du sol. Les FPT sont le plus souvent établies par régression multilinéaire et correspondent à autant de modèles empiriques dérivant la relation pouvant exister entre la composition d'un sol et ses propriétés de rétention en eau.

Des relations furent aussi établies directement entre la RU et les caractéristiques de constitution des sols. C'est le cas de la relation établie par [14]:

$$RUE = a * Lg + b * Lf + c$$

Avec a, b, et c des constantes réelles.

Tableau4: La valeur des coefficients de la FPT

constantes	a	B	C
Valeurs	- 0,051	- 0,56	13,29

$$RUE = - 0,051 * Lg - 0,56 * Lf + 13,29$$

La valeur de la RUE pour dix échantillons est représentée ci-dessous:

Tableau5 : La valeur de RUE prédite.

Echantillons	a*Lg	b*Lf	c	RUE
1	-4,80471	-1,8088	13,29	6,67649
2	-4,79145	-1,8928	13,29	6,60575
3	-4,79349	-1,8648	13,29	6,63171
4	-4,81797	-1,6016	13,29	6,87043
5	-4,83837	-1,4504	13,29	7,00123
6	-4,85418	-1,5848	13,29	6,85102

3.6. Evaluation des estimations de FPT

Tableau 6: Relation linéaire entre RUM et RUE

Variables	n	r	p val
RUM	10	0,274	0,02
RUE	10	0,274	0,02

L'analyse des données de la régression linéaire entre la réserve utile mesurée (RUM) et celle estimée (RUE) montre qu'il existe une relation entre la (RUE) et la (RUM). Le coefficient de corrélation ($r=0,274$) est d'intensité moyenne. Donc on dira que

la relation linéaire entre RUM et RUE est d'intensité moyenne.

La valeur de probabilité ($pval=0,02$) est **inférieure à 0,05**, on rejette l'hypothèse nulle et on conclue qu'une corrélation entre RUM et RUE existe au sein de la population.

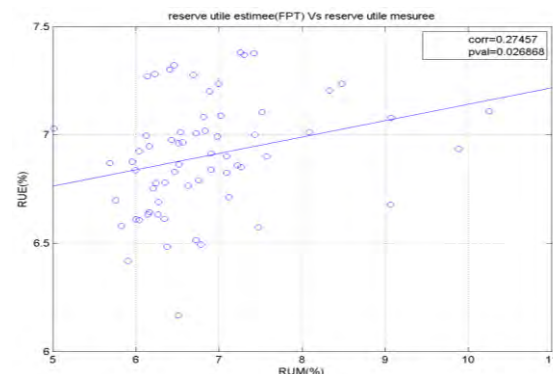


Figure 6: Régression linéaire entre RUM et RUE.

IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

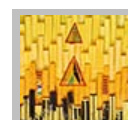
Ce travail a permis de poser les bases de la réflexion sur la valorisation de la base de données du site de Néguela et la représentation des résultats complexes: la RU.

Les classes de FPT proposées dans cette étude ont permis d'améliorer pour de nombreux sols la prévision faite à partir de la capacité de rétention du sol en eau.

L'estimation de la RU est nécessaire à la gestion agronomique des sols: l'alimentation en eau des cultures; l'analyse du risque de transfert des polluants; et les conditions de recharge de la nappe. La connaissance de la RU est ainsi essentielle afin d'orienter les systèmes de cultures (type de cultures, irrigation, rotation, etc....) dans le contexte d'un changement climatique.

REFERENCES

- [1] Dr Soiba D. 2013: COURS DE PEDOLOGIE à l'Ecole Normale Supérieure de Bamako
- [2] Bruand A, Duval. O., Gaillard H., Darthout R., Jamagne M., 1996-Variabilité des propriétés de rétention en eau des sols: importance de la densité apparente. Etude et Gestion des sols, 3(1), 27-40.
- [3] Jamagne. M 1967- Bases techniques d'une cartographie des sols . Ann. Agron., n° hors série, 18,142p.
- [4] (DE JONG et al 1983;Saxton et al 1986) et BOURON B., 1990. Caractérisation hydrodynamique des sols topo séquence Mémoire, Ensam Montpellier, France, 57p.



[5] Bastet G., 1999- Estimation des propriétés de rétention en eau des sols à l'aide de fonctions de pédotransfert: développement de nouvelles approches. Thèse Université d'Orléans, 214p.

[6] Prof. A. Mermond., 2006, Cours de physique du sol: ETAT DE L'EAU DU SOL (Version Provisoire) (Volume: 30) 2-3p.

[7] Prof. A. Mermond., 2006, Cours de physique du sol: DYNAMIQUE DE L'EAU DU SOL (Version Provisoire) (Volume: 57) 9-10-14p.

[8]. Baize & Tomassone., 2005; Baize et al., 2009

[9] Chenu et al. 2008: Programme MOST

[10] B. KEITA & D. DIALLO. 1983: ETUDE MORPHOPÉDOLOGIQUE DES FORETS CLASSEES NEGALA-BOSSOFALA BAOULE-NAFADJI (Volume 31) 7p.

[11] M. KEITA & H. KONARE. 1988: Méthodes d'Analyses des Sols, Plantes et Eaux (2^{ème} édition).

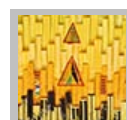
[12] KounkandjiB, 2013: Guide pour les Prospections Pédologiques et Interprétation des Résultats d'Analyses. 6p, IER/CRRA-SOTUBA

[13] BONNEAU (M.), 1961 : Evaluation au laboratoire de la capacité au champ en fonction de la texture. *Bull. A.F.E.S.*, n° spécial (8) 16-26p.

[14] Salter et Williams, 1965: distribution of soil textural composition by field survey

[15] Unité Infosol-INRA Orléans.

Groupement d'Intérêts Scientifique sur les sols:
<http://gissol.orleans.inra.fr>



Minéralisation de trois gisements aurifères birimiens (Syama, Tabakoroni et Tellem), sur la ceinture de Bagoé au Mali

Dasso Yollande Traore^{1*}, Mamadou Lamine Bouare², Didier Beziat³, Salia Coulibaly¹ et Adama Youssouf Kone¹

¹Département d'Enseignement et de Recherche de Géologie; Faculté des Sciences et Techniques ; Université des Sciences des Techniques et des Technologies de Bamako, Mali

²Ecole Nationale d'Ingénieurs Abdramane Baba Touré, Bamako-Mali

³Université Paul Sabatier de Toulouse, France

*Auteur correspondant : dassoyollande@yahoo.fr

RESUME : La ceinture du Bagoé se présente comme un dispositif linéaire orienté N-S. Elle est formée par des séries volcaniques tholéiitiques et calco-alcalines, des lamprophyres, des séries sédimentaires et volcanosédimentaires. Ces formations sont affectées par une intense schistosité associée à un métamorphisme de faciès schistes verts et par de grands accidents méridiens équivalents des grands accidents N-S à NNE-SSW. La ceinture de Bagoé présente toutes les caractéristiques des ceintures au sein desquelles se développent un certain nombre de gisements aurifères du Craton Ouest Africain (COA). La minéralisation se concentre dans les roches où les structures de déformation fragile sont les plus développées et préférentiellement en bordure des veines. Les sulfures majeurs (pyrite à Syama et pyrite + arsénopyrite à Tabakoroni et Tellem) sont zonés avec : i) un cœur arsénifère riche en inclusions d'albite, d'ankérite et de rutile; ii) une bordure limpide, moins arsénifère. L'or se présente sous forme d'or invisible inclus dans le réseau cristallin des sulfures, de petits grains individualisés en inclusion dans les sulfures, souvent accompagnés de sulfoantimoniures, notamment la tétraédrite et la chalcostibite, et d'or libre associé au quartz. Les pyrites arsénifères et les arsénopyrites des gisements de la ceinture de Bagoé sont parmi les plus riches en or invisible de tous les gisements d'or de l'Afrique de l'Ouest et tout à fait comparables à ceux de la ceinture d'Ashanti au Ghana. Les gisements de la ceinture de Bagoé diffèrent des gisements de la partie occidentale du Mali qui affleurent au sein de séries essentiellement métasédimentaires. Cette différence de nature lithologique se retrouve dans la composition des pyrites qui se démarquent des pyrites des autres gisements sud-maliens.

Mots-clés: Paléoprotérozoïque, Mali, Or orogénique, Pyrite, Arsénopyrite

I. INTRODUCTION

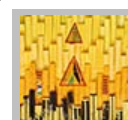
Cette étude porte sur le Mali, un pays au long passé dans la production aurifère. En effet, au 14^e siècle l'empereur du Mali, Kankou Moussa a dépensé une dizaine de tonnes d'or lors de son pèlerinage à la Mecque, ce qui a fait fléchir à l'époque le cours du métal jaune. En 2018 le Mali a occupé la 4^e place des pays producteurs en Afrique après le Ghana, le Soudan et l'Afrique du Sud. Parallèlement les travaux de recherches sur les gisements aurifères se sont développés. L'essentiel des gisements d'or du Craton Ouest-africain sont des gisements orogéniques associés à l'orogénèse éburnéenne (Milési et al., 1992 ; 1995 ; Béziat et al., 2008 ; Markwitz et al., 2016 ; Goldfarb et al., 2017). Le Mali possède d'immenses potentialités aurifères. Les gisements y sont nombreux et se localisent dans les terrains Paléoprotérozoïques. Ces derniers se situent dans la boutonnière de Kédougou-Kéniéba à l'Ouest du Mali et dans la partie Sud Mali où affleure une ceinture de roches vertes appelée ceinture de Syama. C'est dans cette dernière que l'on trouve le gisement historique de Syama exploité depuis 1990 par la Société des Mines d'Or de Syama (SOMISY. SA) d'abord sous forme d'open pit (ciel ouvert) et ensuite

en mine souterraine. Il fait partie d'un district qui comprend outre le gisement de Syama, des indices encore en exploration comme celui de Tellem et du prospect de Tabakoroni.

Les principaux gisements d'or maliens qui ont fait l'objet d'études approfondies se situent dans la partie orientale de la boutonnière de Kédougou-Kéniéba (Milési et al., 1992 ; Dommanget et al., 1993 ; Lawrence et al., 2013 ; Masurel et al., 2016a, b ; Hein et al., 2015). Le gisement de Syama a fait l'objet de publications et d'un travail de thèse, mais il existe peu d'informations sur les indices de Tellem et Tabakoroni. Cette étude vise à définir un modèle métallogénique spécifique à la ceinture du Bagoé à travers une analyse comparative des gisements de Syama, Tabakoroni et Tellem dans le but de définir les caractéristiques de la minéralisation aurifère.

II. CONTEXTE GEOLOGIQUE

Les trois principaux gisements (Syama, Tabakoroni et Tellem) se situent dans la partie birimienne Sud du Mali. Cette partie est formée par une succession de ceintures de roches vertes orientées NNE-SSW et séparées par des bassins sédimentaires (Figure 1). Ces ceintures sont à dominance volcanique basique



ou à dominance sédimentaire et sont recoupées par des plutons et des stocks de granitoïdes Kushnir (1999). La ceinture de Syama porte la Banifing shear zone. C'est une ceinture étroite qui s'allonge sur 100 km vers le Sud où elle se rattache à la faille de Sassandra en Côte d'Ivoire ((Milési et al., 1989 ; 1992 ; Girard et al., 1998 ; Standing, 2005). Le gisement aurifère de Syama ainsi que les gîtes de Tabakoroni et de Tellem se localisent sur la ceinture de Syama (Figure 2).

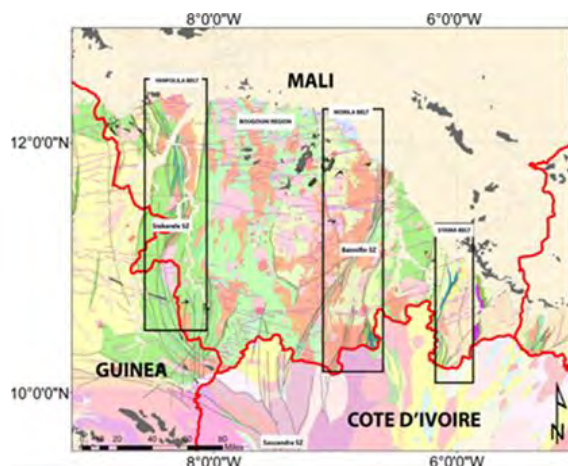


Figure 1. Carte géologique simplifiée du Sud-Ouest du Mali (modifiée d'après J. Miller, Projet WAXI II AMIRA-International, 2013) ; les rectangles noirs représentent les 3 principales ceintures volcanosédimentaires.

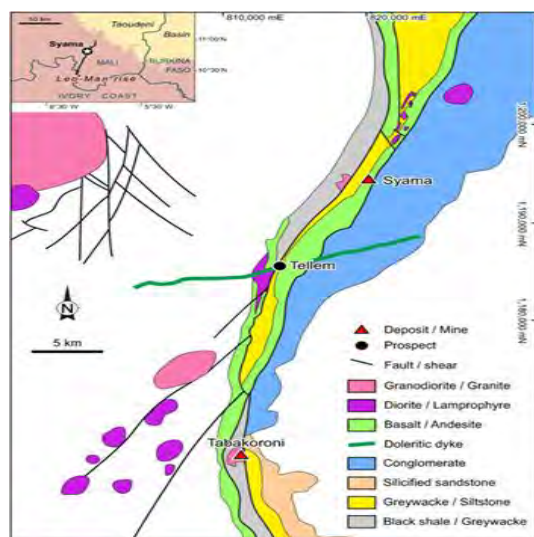


Figure 2. Géologie régionale du gisement de Syama avec la localisation des gisements et indices associés (modifiée d'après Ballo et al. 2016).

Pétrographie

La ceinture de Syama se situe entre la formation de Sikoro à l'Ouest et celle de Ngolopéné à l'Est (Olson et al., 1992 ; Diarra, 1996 ; Ballo et al., 2016 ; Traoré et al., 2016 ; Traoré, 2017). La coupe de Ballo et al. (2016) montre une succession de roches composées de shales, de pyroclastite, de basalte, d'andésite entre

lesquelles s'intercalent des lamprophyres (Figure 3). Ces roches forment des conglomérats ou des niveaux bréchifiés dans des zones de contact souvent accidentées.

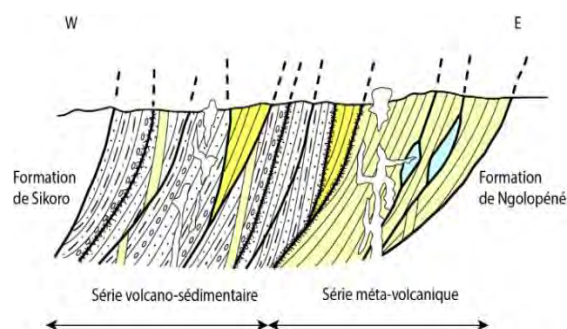


Figure 3. Reconstitution synthétique de la Coupe E-W de la ceinture de Syama.

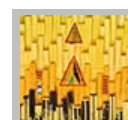
L'observation au microscope des carottes de sondages provenant des trois gisements montre pour la plupart de ces roches des paragenèses secondaires qui varient selon la nature de la roche mère. Les roches magmatiques observées sont: les basaltes et dolérites (à Syama, la paragenèse se compose de chlorite, d'albite, de rutile, et de relique de pyroxène; à Tabakoroni, la dolérite a une paragenèse composée soit d'actinote, ou de hornblende). A Syama le lamprophyre a parfois une paragenèse à fuchsite, albite, séricite, des grains de chromites. Les andésites sont aussi observées à Syama et à Tabakoroni. Le microgranite n'a été échantillonné qu'à Tellem où il représente à notre connaissance la seule roche magmatique. Les minéraux secondaires communs à ces roches sont l'albite, le quartz, la séricite.

En plus des roches magmatiques, nous avons des brèches majoritairement à Syama. Elles sont composées de débris de roches sédimentaires ou de débris de basaltes. Les black shales plus nombreuses à Tabakoroni qu'à Syama et Tellem ainsi que les faciès silicifiés ou cherteux ont été échantillonnés à Syama et à Tabakoroni uniquement. On note enfin la présence des pyroclastites dans les trois gisements.

III. CONTEXTE STRUCTURAL

La structure de la ceinture de Syama, orientée N-S résulte de plusieurs phases de déformations successives (Olson et al., 1992 ; Diarra, 1996 ; Miller et al., 2013 ; Standing et al., 2005 ; Ballo et al., 2016 ; Traoré et al., 2016 ; Traoré, 2017). Les fortes zones de déformation se traduisent par des méga structures et mésostructures. Les structures observées permettent de définir la séquence de déformation suivante :

- un développement de la schistosité régionale majeure NNE-SSW, de zones de forte déformation ductile fragile, formation des chevauchements, bréchification des basaltes résultant d'un



raccourcissement SSE-NNW, c'est l'initiation de la ceinture de Syama ;

- Le jeu (une réactivation) des chevauchements traduit par un développement des plis d'entraînement, des zones de cisaillement métriques, et des fentes de tension sigmoïdes ainsi que par une accentuation de la bréchification et la silicification généralisée ;

- un développement des réseaux de fentes de tension sans direction privilégiée d'étirement et une formation de pseudo-stylolithes et plissement de fentes précoces. On note également un hydrothermalisme généralisé, une minéralisation sulfurée et aurifère plus un développement de failles E-W décalant localement les structures majeures.

3.1 Styles de minéralisation

A Syama, les faciès encaissant la minéralisation sont d'abord des basaltes bréchifiés (Figure 4a et b). La minéralisation s'observe aussi dans les black-shales, les conglomérats bréchifiés et parfois dans les pyroclastites, les lamprophyres, les andésites. La minéralisation aurifère est associée aux générations de veines de carbonates, et de quartz, mais aussi aux zones de brèches. Elle est associée à la pyrite qui se développe aux épontes des veines (Figure 3c).

A *Tabakoroni*, la majeure partie de la minéralisation aurifère est encaissée au niveau de la shear zone principale de *Tabakoroni* développée principalement dans les roches métasédimentaires (les black-shales et les grauweekes) et accessoirement dans les roches magmatiques (Figure 4d). Comme à Syama, des veines à remplissage de carbonates et de quartz recoupent les roches encaissantes formant ainsi un stockwork avec plusieurs générations de veines. On observe également, des zones fortement silicifiées (Figure 4e). Cette silicification se manifeste aussi par la formation de veines de quartz avec des « fissures » à sulfures, des «pseudo-stylolithes» à graphite, carbonate, séricite et même des grains d'or visibles.

A *Tellem*, la principale roche hôte de la minéralisation aurifère est un microgranite au sein des faciès métasédimentaires à volcanoclastiques (Figure 4f).

Les roches minéralisées au niveau des trois gisements ont deux caractéristiques communes : une forte altération et la présence d'un réseau de forte densité de veines. Les relations entre les structures et microstructures ainsi que les paragenèses d'altération nous amènent à proposer une chronologie. On peut alors définir trois stades d'altération correspondant à une albitisation généralisée, une silicification localisée et une altération polycomposite tardive liée au réseau de veines.

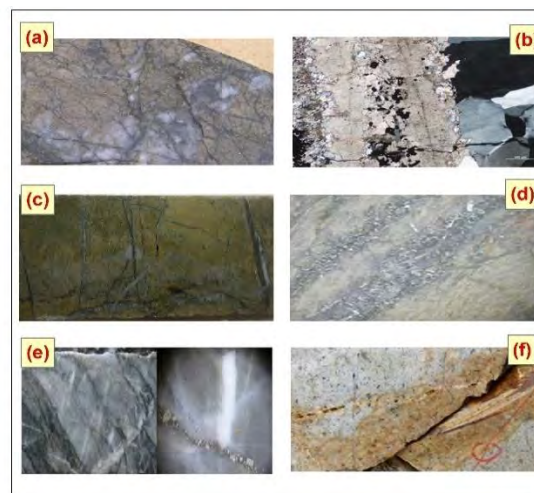
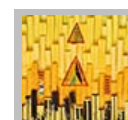


Figure 4. Roches encaissantes de la minéralisation aurifère. (a) : brèche silicifiée, (b) : Réseau de veines de quartz et carbonates (les sulfures sont observées dans les veines et aux épontes des veines), (c) : les veines de quartz et de carbonates s'entrecroisent, l'arsénopyrite est éparse dans la matrice basaltique, (d) : Arsénopyrite dans les veines de quartz+carbonate à *Tabakoroni*, (e) : Faciès fortement silicifié, l'arsénopyrite en remplissage de fissures, (f) : Fissure dans la microgranite à *Tellem* (or visible encerclé).

3.2 Caractéristiques de la minéralisation

Dans le gisement de Syama la pyrite est le sulfure dominant tandis que l'arsénopyrite n'est représenté que de manière accessoire. Les pyrites peuvent être sans fractures et isolées dans la matrice. On observe aussi des amas de pyrite qui semblent résulter de la fracturation d'anciens cristaux (Figure 5a). Au Microscope Electronique à Balayage (MEB) on voit que certains cristaux de pyrites sont xénomorphes et riches en inclusions tandis que les autres sont automorphes et sans inclusions. Ces deux pyrites peuvent être associées dans un même cristal et on observe alors un cœur riche en inclusions et une bordure plus lisse, ce qui définit deux générations de pyrite (Figure 5b). Les inclusions rencontrées dans le cœur sont : l'ankérite, l'albite, le rutile; ou encore la muscovite, la chlorite, la monazite, la sphalérite, la galène, la chalcoppyrite, la chalcostibite, le tétraédrite, la gersdorffite, la cobaltite, la bourmonite et l'ullmannite et plus rarement de l'or. Ce qui met en évidence le caractère tardif de la formation de la pyrite dans la séquence de minéralisation.

A *Tabakoroni* et à *Tellem* la pyrite et l'arsénopyrite sont représentées en proportion égale. Les pyrites et les arsénopyrites présentent aussi un cœur xénomorphes riche en inclusions entouré d'une bordure plus lisse automorphe (Figure 5c). Comme à Syama on a deux générations distinctes de pyrite et d'arsénopyrite. A *Tabakoroni*, i) les cristaux d'arsénopyrite se développent fréquemment en bordure de ceux de pyrite (Figure 5c); ii) on observe aussi des cristaux de pyrite en bordure des



arsénopyrites; iii) ou encore les deux types de sulfures sont en intercroissance (Figure 5d). Ces relations texturales conduisent à considérer les deux sulfures comme cogénétiques. Au contraire de Syama, en plus de la présence de beaucoup d'arsénopyrite, on a celui de la pyrrhotite dans l'arsénopyrite. A *Tellem*, les images MEB révèlent que la pyrite et l'arsénopyrite sont souvent en intercroissance (Figure 5e), parfois l'arsénopyrite apparaît en bordure de la pyrite. L'analyse à la microsonde des pyrites montre que leur variation de composition est due aux variations des teneurs en As. La zonation traduit des variations de teneurs en As (Figure 5f), les bandes claires des pyrites sont plus riches en arsenic que les bandes sombres. Pour les sulfures mineurs et les sulfosels, on retrouve les mêmes minéraux mais ceux-ci sont plus abondants à Syama qu'à Tabakoroni et Tellem, à Tellem on ne retrouve que la galène.

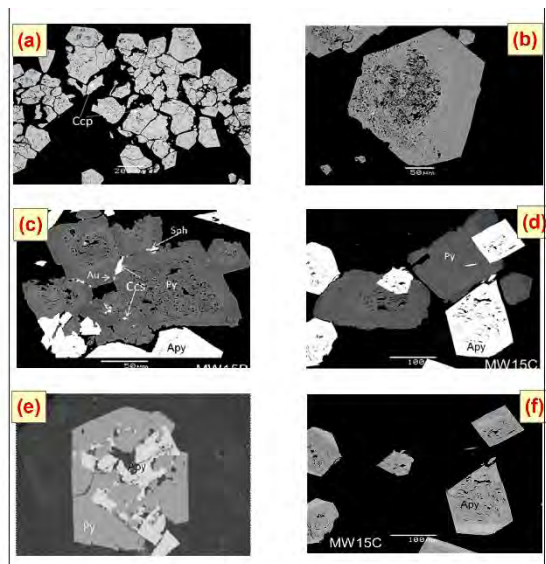
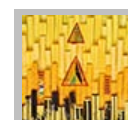


Figure 5. Images MEB de sulfures associés à la minéralisation aurifère à Syama, Tabakoroni et Tellem. (a) : amas de pyrites à Syama, (b) : les deux générations de Pyrite à Syama (au centre et à la bordure), (c) : Générations de Pyrite et d'arsénopyrite à Tabakoroni, (d) : Intercroissance Pyrite-arsénopyrite à Tabakoroni, (e) : Intercroissance pyrite-arsénopyrite à Tellem, (f) : zonation dans les arsénopyrites.

Dans les trois (3) gisements, l'or se présente sous quatre (4) formes: invisible, en grains associé à la pyrite et/ou l'arsénopyrite, or remplissant des fractures, et sous forme d'or libre. L'or invisible à Syama (Velásquez et al., 2014) a été détecté par LA-ICP-MS dans tous les types et générations de pyrite. La corrélation As-Au est clairement exprimée dans les pyrites zonées. Ainsi on observe que le cœur est riche en As avec une plus forte concentration en or tandis que la bordure est plus pauvre en As et en or. A Tabakoroni et à Tellem l'or invisible est présent dans les deux types de sulfures et notamment

dans l'arsénopyrite qui possède souvent les plus fortes concentrations. A Tabakoroni la teneur mesurée dans l'arsénopyrite est très supérieure à celle mesurée dans la pyrite ; les profils réguliers du spectre de l'or montrent sa distribution dans l'arsénopyrite. A Tellem, les concentrations mesurées sont nettement plus faibles (Traoré et al., 2016 ; Traoré, 2017). L'or visible forme de petites inclusions dans la pyrite (Figure 6a) et l'arsénopyrite (Figure 6b). A Syama il apparaît : i) dans la pyrite de première génération; ii) à la limite entre les pyrites des deux générations ; iii) plus rarement dans la pyrite de 2ème génération au niveau de bande riche en As; iv) en surcroissance sur la pyrite (Figure 6c). A Tabakoroni l'or visible forme des inclusions dans les générations de pyrite et d'arsénopyrite (Figure 6d). On le trouve également à la limite entre les deux types de sulfures (Figure 6e). On observe les mêmes habitus pour Tellem (Figure 6f). L'or en remplissage de fractures apparaît au sein des générations de pyrite (Figure 6g) mais aussi en remplissage de microfractures dans les arsénopyrites. Il forme les grains de plus grande taille; il est souvent accompagné d'autres sulfures comme la chalcostibite et la tétraédrite. L'or libre apparaît dans la matrice composée de carbonate et de quartz à proximité de cristaux fracturés de pyrite et d'arsénopyrite (Figure 6h). Il est en remplissage de fissures dans les carbonates, en association avec la bournonite, la tétraédrite, ou la chalcopysite. On le retrouve également au sein de veines de quartz accompagné parfois de rares cristaux de sulfures ou de muscovite, et dans les «pseudo-stylolites» contenant du matériel graphitique; on observe parfois dans ces veines de quartz des phases secondaires comme la kaolinite ou l'hématite ; dans ce dernier cas, l'or se présente en grains de plus grandes tailles, probablement d'origine supergène (Figure 6i). L'or en remplissage de fractures de la pyrite et de l'arsénopyrite ainsi que l'or libre dans la matrice carbonatée et silicifiée représentent la majeure partie de la minéralisation « or visible ». La pureté des grains d'or est égale en moyenne à Syama : 938 ± 12 ; à Tabakoroni : 900 ± 12 ; à Tellem : 800 ± 12 .



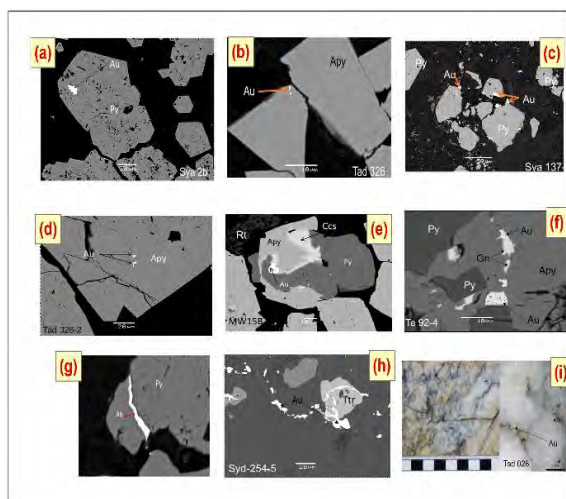


Figure 6. Images MEB (a) à (h) montrant les types d'or au niveau des trois gisements. Au : or, Py : Pyrite, Apy : arsénopyrite, Gn : galène, Ccs : chalcostibite, Ttr : tétraédrite, Rt : rutile. (i) : or visible dans du quartz à Tabakoroni.

IV. DISCUSSION

Les trois gisements (Syama, Tellem, Tabakoroni) se distribuent le long de la faille cisailante appelée «Syama-Bananso shear-zone». Le contexte tectonique, les caractéristiques structurales et minéralogiques de ces gisements, de même que les données des inclusions fluides répondent parfaitement au modèle des gisements d'or dits orogéniques. La formation des sulfures et de la minéralisation aurifère suivent un modèle génétique. Le gisement de Syama uniquement à pyrite : la première génération de pyrite (Py1) se formerait à partir de minéraux riches en fer, notamment les carbonates de fer de type ankérite, dolomite ferrière ou chlorite. La deuxième génération de pyrite se développe aux bordures des cristaux et peut complètement englober la Py1 et également donner des cristaux isolés dans la matrice. Nous considérons alors que cette deuxième génération de pyrite, précipiterait directement à partir du fluide.

Les gisements de Tabakoroni et Tellem à pyrite et arsénopyrite

Comme pour les pyrites de Syama, les deuxièmes générations de pyrite et d'arsénopyrite montrent également de légères zonations liées aux variations de teneurs en As. Cette observation est fréquente dans les gisements de types orogéniques (Fleet et al., 1989; Fleet et al., 1993; Fleet and Mumin, 1997; Simon et al., 1999b; Reich et al., 2005). Un scénario similaire à celui décrit pour Syama peut s'appliquer à Tabakoroni et Tellem pour expliquer la présence de deux générations distinctes de pyrite et d'arsénopyrite.

L'or visible ou invisible

L'Or qu'il soit visible ou invisible peut ainsi se retrouver dans le réseau de la pyrite comme

l'attestent les spectres LA-ICP-MS de ces divers métaux dans les deux types de sulfure. Ces sulfures présentent les mêmes profils que celui de l'or (Traoré et al., 2016 ; Traoré, 2017) qui est qualifié d'invisible car non repérable au MEB. Les pyrites les plus riches en or sont aussi celles les plus riches en As. Ainsi, les compositions de nos pyrites s'accordent avec le modèle d'or invisible, c'est à dire que ce dernier dans les pyrites de Syama et Tabakoroni se trouve sous forme de solution solide.

Différences structurales et minéralogiques entre les trois gisements

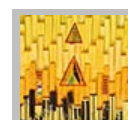
Sur le plan structural, on constate pour les trois (3) gisements que la minéralisation est associée à un stockwork de veines auquel s'ajoute une forte bréchification (uniquement à Syama). D'un point de vue minéralogique, la principale différence entre les trois gisements se marque par la présence simultanée de pyrite et d'arsénopyrite au niveau de Tabakoroni et de Tellem ainsi que la présence unique de pyrite à Syama. Enfin, on observe également une nette différence de composition des pyrites, celles associées à l'arsénopyrite étant clairement plus riches en As. Ces spécificités peuvent être imputables aux caractéristiques du fluide minéralisateur et aux conditions de température et de pression de formation, mais également à la nature des roches encaissantes qui diffèrent suivant les gisements.

Dans la partie sud-occidentale du Mali, trois régions présentent des gisements d'or (Masurel et al., 2017 ; Lawrence et al., 2013a & b; Lawrence et al., 2016, Hammond et al., 2011 ; Mc Farlane et al., 2011 ; Salvi et al., 2016 ; Sangaré, 2015). Le point commun de tous ces gisements est leur localisation à proximité de zones de déformation cisailante intense qui se seraient formées durant les périodes orogéniques éburnéenne. Les spécificités de chaque gisement seraient dues au contexte lithologique et à l'origine des fluides. Le cadre lithologique ainsi que le dynamisme du bassin des gisements de cette région, contrôlent la nature et la composition minéralogique de la paragenèse minéralisée.

Le contexte lithologique régional, contexte de ceinture de roche verte comme à Syama et Tabakoroni, contexte de bassin sédimentaire pour tous les autres gisements de cette région, exerce un contrôle sur la nature et la composition des minéraux de la paragenèse minéralisée. A titre d'exemple, on peut noter la présence ou non d'arsénopyrite dans la paragenèse minérale. Ce contrôle peut apparaître au sein d'un même district où deux gisements présentent des roches encaissantes différentes.

V. CONCLUSION

La minéralisation se concentre dans les formations où les structures de déformation fragile sont les plus développées. Elle est variée avec par ordre d'importance décroissante : pyrite, chalcopirite, sphalérite, tétraédrite, pyrrhotite, gersdorffite,



chalcostibite, bournonite, ullmannite, galène. Les sulfures montrent les mêmes caractères texturaux. L'or se présente sous plusieurs formes : Or invisible inclus dans le réseau cristallin des sulfures, Or en petits grains contenus dans les sulfures, Or localisé dans la zone de contact entre deux générations de sulfures, Or au contact des sulfures ou en remplissage de fractures affectant les sulfures et enfin l'Or libre. L'essentiel de la minéralisation aurifère apparaît donc contrôlée par les sulfures.

L'analyse conjointe des structures de déformation et de la minéralisation met en évidence leur interdépendance. La relation entre les séquences de structures et celles de la minéralisation permet d'envisager un modèle de dépôt et d'évolution de la minéralisation en particulier de l'or. La température modérée, la faible salinité et la composition du fluide responsable de la minéralisation dans ces trois (3) gisements sont compatibles avec les caractéristiques des fluides libérés au cours du métamorphisme régional au niveau de zones orogéniques.

REMERCIEMENTS

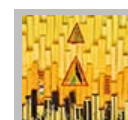
Nous remercions sincèrement le Programme Formation de Formateurs (PFF) des universités de Bamako pour le soutien financier, les responsables du projet WAXI (West Africa Exploration Initiative) pour l'accompagnement aux travaux de terrain et de laboratoire et le Dr Hugues Diarra. Il nous paraît opportun de remercier également Resolute Mining à travers la SOMISY (Société des Mines d'Or de Syama), les collègues du DER de Géologie de la Faculté des Sciences et Techniques (FST) de Bamako ainsi que d'autres enseignants de la dite Faculté à savoir le Pr Badié Diourté, le Dr Mamadou Diawara pour leurs conseils et encouragements.

RÉFÉRENCES

- I. Ballo, K.A.A. Hein, B. Guindo, L. Sanogo, Ouologuem, G. Daou, A. Traoré. "The Syama and Tabakoroni goldfields, Mali". *Ore Geology Reviews* 78, 2016.
- P.N. Bentley, L. Venter, R. Moolman, G. Henry, P. Heidstra and D. Reading. "Geological review, gold target prioritization and recommendations for future exploration work". Syama Exploration Permits Randgold Resources Ltd internal report, unpublished, 2000.
- D. Béziat, M. Dubois, P. Débat, S. Nikiéma, S. Salvi and F. Tollon. "Gold metallogeny in the Birimian craton of Burkina Faso (West Africa)". *Journal of African Earth Science* 50: 215-233, 2008.
- M. Boher, W. Abouchami, A. Michard, F. Albarede, N.T and Arndt. "Crustal growth in West Africa at 2.1 Ga". *J. Geophys. Res.* vol. 97, 1992.
- P.H. Diarra. "The geology and genesis of the Syama gold deposit, Mali, West Africa". Thesis Department of Geology, Faculty of Science, University of Southampton, pp276, 1996.
- A. Dommanget, J.P. Milési, M. Diallo. «The Loulo gold and tourmaline-bearing deposit. A polymorph type in the Early Proterozoic of Mali (West Africa)". *Miner. Dépos.* 28: 253–263, 1993.
- M.E. Fleet and A.H Mumin. "Gold-bearing arsenian pyrite and marcasite from Carlin Trend deposits and laboratory synthesis". *The American Mineralogist*, vol. 82, 182-193, 1997.
- M.E Fleet, S.L. Chrysosoulis, P.J. MacLean, R. Davidson and C.G. Weisener. "Arsenian pyrite from gold deposits: Au and As distribution investigated by SIMS and EMP, and color staining and surface oxidation by XPS and LIMS". *Can Mineral*, 31: 1-17, 1993.
- M.E. Fleet, P.J. MacLean and J. Barbier. "Oscillatory-zoned As-bearing pyrite from strata-bound and stratiform gold deposits: An indicator of ore fluid evolution. In *The Geology of Gold Deposits: The Perspectives in 1988*, 6 (eds. R. R. Keays, W. R. H. Ramsay, and D. I. Groves), 356–362". *Econ. Geol. Monogr*, 1989.
- P. Frank and I.C. Bierlein. "The role of carbonaceous 'Indicator' Slates in the genesis of lode gold mineralization in the Western Lachlan Orogen, Victoria, Southeastern Australia". *Economic Geology*. Vol 96, n°3 pp 431-451, 2001.
- P. Girard, N. Goulet et M. Malo. "Synthèse des données géologiques et cartographie, 233 Amélioration et Modernisation du centre de documentation, Géologie du Mali. Rapport final 234 partie II". *Projet d'assistance technique au secteur minier du Mali crédit 2390-MI1 Hollings and Kerrich*, 2004.
- R.J. Goldfarb, A.S. André-Mayer, S.M. Jowitt and G.M. Mudd. "West Africa: The World's Premier Paleoproterozoic Gold Province". *Economic Geology*, v. 112, pp. 123–143, 2017.
- N.Q. Hammond, L. Robb, S. Foya and D. Ishiyama. "Mineralogical, fluid inclusion and stable isotope characteristics of Birimian orogenic gold mineralization at the Morila Mine, Mali, West Africa". *Ore Geology Review* 39: 218-229, 2011.
- K.A.A. Hein, I.R. Matsheka, O. Bruguier, M. Masurel, D. Bosch, R. Caby and P. Monié. "The Yatela gold deposit: 2 billion years in the making". *Journal of African Earth Sciences* 112: 548-569, 2015.



- I. Kushnir. "Gold in Mali". *Acta Montanistica Rocnik*4, 311-318, 1999.
- D.M. Lawrence, J.S. Lambert-Smith and P.J. Treloar. "A Review of Gold mineralization of Mali". *Mineral Resource Reviews*, 2016. DOI 10.1007/978-3-319-31733-5_13.
- D.M. Lawrence, P.J. Treloar, A.H. Rankin, A. Boyce and P. Harbidge. "A Fluid Inclusion and Stable Isotope Study at the Loulo Mining District, Mali, West Africa: Implications for Multifluid Sources in the Generation of Orogenic Gold Deposits". *Economic geology* 108: 229-257, 2013.
- D.M. Lawrence, P.J. Treloar, A.H. Rankin, A. Boyce and J. Holliday. "The Geology and Mineralogy of the Loulo Mining District, Mali, West Africa: Evidence for Two Distinct Styles of Orogenic Gold Mineralization". *Economic Geology* 108: 199-227, 2013.
- V. Markwitz, K.A.A. Hein, M.W. Jessell and J. Miller. "Metallogenic portfolio of the West Africa craton". *OREGEO-01654*, 2016.
- Q. Masurel, J. Miller, K.A.A. Hein, E. Hanssen, N. Thébaud, S. Ulrich, J. Kaisin and S. Tèssougué. "The Yatéla gold deposit in Mali, West Africa: The final product of a long-lived history of hydrothermal alteration and weathering". *Journal of African Earth Sciences* 113: 73-87, 2016.
- Q. Masurel, N. Thébaud, J. Miller, S. Ulrich, K.A.A. Hein, G. Cameron, D. Béziat, O. Bruguier and J.A. Davis. "Sadiola Hill: A World-Class Carbonate-Hosted Gold Deposit in Mali, West Africa". *Economic Geology*, v. 112, pp. 23-47, 2017.
- M.C. Farlane, R.M. Christopher, J. Mavrogenes, D. Lentz, K. King, A. Allibone and R. Holcombe. "Geology and Intrusion-Related Affinity of Morila Gold Mine, Southeast Mali". *Economic Geology*, Vol 106, n°5.
- J.P. Milési, P. Ledru, J-L. Feybesse, A. Dommanget E. and Marcoux. "Early Proterozoic ore deposits and tectonics of the Birimian Orogenic belt, West Africa". *Precambrian Res* 58: 305-344, 1992.
- J.P. Milési, E. Egal P. Ledru, Y. Vemhet, D. Thiéblemont, A. Cocherie, M. Tegye, J.B. Martel and P.H. Lagny. "Les minéralisations du Nord de la Guyane française dans leur cadre géologique". *Chron. Rech. Min.* n°518, pp. 5-58, 1995.
- J.M. Miller, J. Davis, L. Baratoux, T.C. McCuaig, V. Metelka and M. Jessell. "Evolution of gold systems in Guinea, southern Mali and western Burkina Faso: AMIRA International Ltd P934A-West African Exploration" Initiative-Stage 2 Final unpublished report, Appendix D1, 127-234, 2013.
- T. Oberthür, T. Weiser, J.A. Amanor and S.L. Chrysosoulis. "Mineralogical sitting and distribution of gold in quartz veins and sulfide ores of the Ashanti mine and other deposits in the Ashanti belt of Ghana: Genetic implications: Mineralium Deposita", vol. 32, 2-15, 1997.
- S.F. Olson, K. Diakitè, L. Ott, A. Guindo, C.R.B. Forb, N. Winer, E. Hanssen, N. Lay, R. Bradley and D. Pohl. "Proterozoic Syama Gold Deposit, Mali West Africa". *Economic Geology*, vol 84, pp310-331, 1992.
- M. Reich, S.E. Kesler, S. Utsunomiya, C.S. Palenik, S.L. Chrysosoulis and R.C. Ewing. "Solubility of gold in arsenian pyrite". *Geochimica and Cosmochimica Acta*, vol. 69, 2781-2796, 2005.
- A. Sangaré, Y. Driouch, S. Salvi, O. Femenias, L. Siebenaller, M. Belkasmi, D. Béziat, M. Dahire, A. Ntarmouchant, S. Adil& P. Débat. "Environnement géologique des minéralisations aurifères du gisement tardi-éburnéen de Kalana (Birimien, Sud-Ouest du Mali)". *Bull. Inst. Sci. Rabat* 36, 2015.
- G. Simon, S.E. Kesler and S. Chrysosoulis. "Geochemistry and textures of gold-bearing arsenian pyrite, Twin Creeks, Nevada: Implications for deposition of gold in Carlin-type deposits". *Economic Geology* 94: 405-422, 1999.
- J. Standing. "Geological and structural mapping in the Syama-Finkolo prospect area, Mali, West Africa". Confidential Report by Jigsaw Geoscience Pty Ltd to Resolute Mining Limited, April 2005 (29 pp.).
- D.Y. Traoré, L. Siebenaller, S. Salvi, D. Béziat, M.L. Bouaré. "Progressive gold mineralization along the Syama corridor, southern Mali (West Africa)". *Ore Geol. Rev.* 78, 586-598, 2016.
- D.Y. Traoré. "Etude métallogénique du district aurifère de Syama (Mali): analyse comparative de gisements situés sur une même structure lithosphérique éburnéenne". Thèse. Univ. Toulouse3 Paul Sabatier, 2017.
- G. Velasquez, D. Béziat, S. Salvi, L. Siebenaller, A.Y. Borisova, G.S. Pokrovski and P. De Parséval. "Formation and deformation of pyrite and implications for gold mineralization in the El Callao District, Venezuela". *Econ. Geol* 109: 457-486, 2014.



Impact des changements climatiques sur l'évolution du système d'élevage transhumant au Mali: Cas des zones de Nioro et Diéma dans la région de Kayes

Boureima Kanambaye^{1*}, Lassina Traoré², Moussa Karembe³ et Hanan Niall³

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

²Faculté des Sciences et Techniques, Université de Bamako, Bamako, Mali

³Geographic Information Science Center of Excellence, South Dakota State University Brookings, SD 57007 USA

Adresse de correspondance: kanambayeboureima@gmail.com

RESUME : la présente étude vise à cerner l'impact du changement climatique sur l'évolution du système d'élevage transhumant au Mali. Elle a été réalisée dans la région de Kayes notamment dans les cercles de Diéma et de Nioro du Sahel. La transhumance devient un facteur limitant pour la conservation des ressources pastorales. Ce phénomène se justifie par une augmentation accrue du troupeau transhumant selon 41% des enquêtés ; un temps de séjour élevé des troupeaux selon 67% et enfin le tarissement précoce des points d'eau selon 67%. Pour ce faire, il a été effectué des enquêtes socio-économiques auprès des agropasteurs afin d'avoir leur perception sur les causes, les conséquences du changement climatique et son impact sur l'évolution du système d'élevage transhumant. De même, les relevés phytoécologiques et des prélèvements de biomasse ont été réalisés sur les pistes de transhumance. La coupe abusive des ligneux et les défrichements sont les principales conséquences du changement climatique évoquées par plus de 50% des populations interrogées dans les deux localités. La production herbacée est de 1,33 tonnes de MS/ha à Lakamané et 1,02 tonnes de MS/ha à Korokodio. La capacité de charge est de moins d'1 UBT/ha/ 8 mois dans les deux localités. La valeur pastorale est de 62,09% à Korokodio et 60,71% à Lakamané. Cette étude doit être soutenue pour une gestion durable des ressources naturelles, permettant à perpétuer le système d'élevage transhumant au Sahel.

MOTS CLES : *Changements climatiques, transhumance, perception agropasteurs, strate herbacée, valeur pastorale.*

I. INTRODUCTION

Pays continental de l'Afrique de l'Ouest, situé entre la latitude 10° et 25° Nord et la longitude 4° Est et 12° Ouest, le Mali couvre une superficie de 1 241 238 km². A l'exception du Niger, il est le plus vaste Etat de l'Afrique occidentale. Il s'étend sur des distances considérables de 1500 km du Nord au Sud et de 1800 km d'Est en Ouest Ballo, (2005). Les deux tiers de sa superficie sont occupés par les zones arides (MEATEU, 2000). Cette situation fait du Mali un pays sahélien et justifie en conséquence son intégration au sein du Comité Inter-états de Lutte contre la Sécheresse au Sahel Dembélé et al. (2004). La population du Mali est estimée à 14 157 117 habitants. Elle est essentiellement rurale dont 80% dépendent du secteur primaire DNSI, (2009). L'agriculture demeure la principale activité socioéconomique suivie de l'élevage.

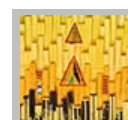
Le sous-secteur de l'élevage constitue l'un des secteurs productifs où les pays du Sahel ont un avantage comparatif certain. Au regard de la demande croissante en produits d'élevage dans la sous-région, ainsi que de son rôle très important dans le développement de l'agriculture (apport de fertilisants organiques et de force de travail), le développement du sous-secteur de l'élevage pourrait contribuer fortement à la réalisation d'une croissance

économique soutenue, ainsi qu'à l'amélioration durable des soldes commerciaux.

En zone pré guinéenne, le potentiel de production pastoral en condition naturelle peut varier de 1 à 6 tonnes par hectare, ce potentiel varie entre 3 à 6 tonnes par hectare en zone soudanienne. En revanche, elle demeure faible en zone sahélienne avec une production moyenne allant de 0,5 à 2 tonnes par hectare Dembélé et al. (2009) ; Karembe et al, 2009; ROSELT/OSS, 2006; Boudet, (1979).

Le surpâturage, la surexploitation, les défrichements pour la mise en culture et les feux de brousse récurrents sont les pressions exercées sur les ressources pastorales au Mali.

Le système d'élevage transhumant est très important au Sahel, les grands troupeaux de petits ruminants et de grands ruminants se composent notamment de zébu, de mouton et de chèvre exploitent les zones du nord du Sahel en saison pluvieuse et des pâturages du sud du Sahel et de la savane en saison sèche. En saison pluvieuse les animaux se nourrissent pendant deux à trois mois sur de bons pâturages, il n'est pas possible d'y rester plus longtemps parce que l'eau d'abreuvement s'évapore plutôt que prévue après l'arrêt des pluies, la nourriture disponible n'y est partiellement consommée et c'est ainsi que le manque d'eau protège le nord du Sahel contre le surpâturage Traoré, (2001). Cependant ce système



est confronté aux différents problèmes suite aux changements climatiques qui sont entre autres la baisse de la pluviométrie, la croissance numérique des troupeaux, l'embavement anarchique des couloirs de transhumance, etc.

En effet pour bien cerner ces problèmes, le présent article étudie l'impact des changements climatiques sur l'évolution du système d'élevage transhumant au Mali.

1.2 Caractéristiques des zones d'étude

1.2.1 Le bioclimat Soudanien

La zone pastorale de Lakamané (cercle de Diéma) est située dans le Soudanien Nord et dans la région naturelle du Hodh une zone agro-écologique du Bas Kaarta (H-3), caractérisée par une pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 550 mm et 750 mm. Le nombre de jours humides varie de 60 à 90 jours. La durée de la saison agricole s'étend sur 80 à 120 jours. Les variétés de céréales et de légumineuses adaptées sont de types semi précoces. Les types de sols dominants sont les Terrains Cuirassés (TC) et les Plaines Limoneuses (PL). Les formations végétales dominantes sont les savanes arbustives, les savanes arborées et les savanes boisées.

1.2.2 Le bioclimat Sahélien

La zone pastorale du cercle de Nioro du Sahel est couverte par le bioclimat Sahélien Sud (SH). La pluviométrie moyenne annuelle varie entre 350 mm et 550 mm. Le nombre de jours humides est plus de 60 jours. La durée de la saison agricole oscille entre 45 et 90 jours. Dans cette zone, on cultive des céréales et légumineuses de variétés précoces.

Nioro du Sahel se situe dans la région naturelle du Hodh et dans la zone agro-écologique de Toronké (H-2). Les plaines argileuses et limoneuses aux sols profonds sont les plus réparties. Les formations végétales dominantes sont les savanes arbustives et les steppes.

1.2.3 Caractéristiques socio-économiques

La population du Cercle de Diéma, selon le résultat provisoire du recensement 2009 est de 30 592 habitants. Les taux d'accroissement moyens annuels sont chiffrés à 4,3%. Dans le cercle de Diéma, l'agriculture et l'élevage demeurent les principales activités socio-économiques. A celles-ci s'ajoute l'exploitation des ressources sylvo-pastorales qui contribuent à l'amélioration des revenus des communautés.

La population du cercle de Nioro du Sahel, après le recensement de 2009 est de 33 486 habitants avec un taux d'accroissement moyen annuel chiffré à 3,8%. L'élevage constitue la principale activité socio-économique des communautés.

II. METHODES

Réalisation de l'enquête

Etape de Diéma

L'enquête s'est déroulée dans six Communes du Cercle de Diéma qui sont : les Communes rurales de Djankirdé et Dioumara situées à l'est, les Communes rurales de Djankounté camara et Lakamané situées à l'ouest, les Communes de Diéma et Sansakidé situées au centre.

Le choix de ces Communes est fait sur la base de la traversée des pistes de transhumance et la présence des zones de concentration des animaux transhumants. Un échantillonnage de 15 ménages par Commune a été effectué. Les ethnies enquêtées sont composées de communautés : Peulh, Maure, Bambara, Soninké, Khasonké et Diawambé.

Les ménages enquêtés ont été choisis au hasard en fonction de leurs activités agro-pastorales. L'enquête s'effectuait pendant les jours ordinaires tout en se conformant au calendrier de l'enquête.

Etape de Nioro du Sahel

A Nioro du Sahel l'enquête s'est déroulée au niveau de trois Communes précisément dans les Communes rurales de Diayecoura, Gavinané et Sandaré. Le choix de ces Communes est relatif à leur traversée par les pistes de transhumance, la présence des zones de concentration des animaux transhumants ainsi que la dominance de la population pratiquant l'élevage transhumant.

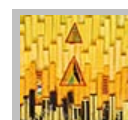
Un échantillonnage de 15 ménages par hasard et par Commune a été effectué, l'enquête s'est déroulée comme dans les localités précédentes. Les communautés enquêtées sont : Peulh, Serre, Oulof, Bambara.

Détermination de la richesse floristique et de la production de biomasse dans les zones pastorales de Diéma et Nioro du Sahel

Pour la détermination de la composition floristique et de la production de biomasse herbacée sur les pistes de transhumance des zones pastorales ; nous avons fait des relevés phytoécologiques.

Ainsi il a été délimité dans chaque point de prélèvement une superficie de 16 m² qui correspond à l'aire minimale. A l'intérieur de cette superficie, il a été systématiquement recensé toutes les espèces présentes et déterminé leur abondance dominance. Il a aussi été déterminé le recouvrement global de la végétation ligneuse, de la strate herbacée et de la fréquence du sol nu. Pour l'évaluation de la production de la biomasse herbacée, il a été adopté la méthode des placeaux métalliques de 25 cm x 25 cm soit 0,25 mètre carré, confectionnés à cet effet. Il s'agissait pour nous de faucher la biomasse sur pied à l'intérieur de ces placeaux.

La piste de transhumance, allant du village de Lakamané dans la zone pastorale de Tamafounou, en passant par le périmètre pastorale aménagé de ladite zone, a été retenu pour ces relevés phytoécologiques. Trois placeaux de biomasse ont été fauchés à chaque 2 km soit 36 échantillons sur une distance d'environ 24 km. Ces échantillons sont pesés au frais avec un peson électronique à haute précision, ensuite un



échantillon composite a été prélevé dans chaque mélange de trois échantillons par point de prélèvement.

La même opération a été effectuée, pour la piste de transhumance du cercle de Nioro du Sahel, dans la zone pastorale de Korokodio.

Pour déterminer le taux de matière sèche, les échantillons composites ont été placés à l'étuve à 90°C pendant 48 heures.

Evaluation de la capacité de charge sur les pistes de transhumance des zones pastorales

Pour une meilleure gestion des zones pastorales, il est important de connaître un certain nombre de paramètres dont la capacité de charge. En effet, la capacité de charge a été calculée sur la base de la biomasse récoltée dans les différentes zones pastorales. En fonction de la quantité de biomasse sèche récoltée sur chaque zone pastorale, il a été déterminé le nombre d'UBT/ha, si la consommation journalière d'1 Unité de Bétail Tropical (UBT) est de 6,25kg de Matière Sèche (MS), soit 2,5kg de MS pour 100kg de poids vif.

Evaluation de la valeur pastorale des pistes de transhumance

Elle s'exprime pour une formation végétale donnée à partir de la contribution spécifique au recouvrement des espèces et de leur qualité du point de vue appétibilité. Chaque espèce présente un indice qui détermine sa qualité pastorale. Cet indice est compris entre 0 et 5 (Daget et Godron, 1995). Les espèces à indice de qualité 0 sont non appréciées par les animaux et sont considérées de mauvaise qualité pastorale, tandis que celles à indice de qualité 5 sont les plus appréciées et par conséquent sont de très bonne qualité pastorale. La formule utilisée pour calculer cette valeur pastorale est :

$$VP = 1/5 \sum Csi * Isi * 100$$

VP= Valeur pastorale en pourcentage (%);
Csi= Contribution spécifique de l'espèce en pourcentage; Isi = Indice spécifique de qualité (0 à 5) ; 100= Recouvrement.

2. Traitement des données

Les données collectées ont été saisies et traitées à l'aide du logiciel Excel. Il s'agit des données d'enquêtes, de la biomasse sèche herbacée et de la richesse floristique. Pour l'analyse et l'interprétation des résultats, il a été utilisé les méthodes graphiques et des tableaux.

III. RESULTATS

Les résultats présentés ici sont relatifs à l'enquête socio-économique, la diversité floristique de la strate herbacée, la variation de la production de biomasse sèche en fonction des zones pastorales, la valeur pastorale et la capacité de charge.

3.1 Les caractéristiques des personnes enquêtées

Les personnes enquêtées se caractérisent par la diversité de leurs ethnies, de leur niveau d'éducation et de leur sexe.

Il est important de rappeler ici que le nombre de ménages enquêtés est de 90 à Diéma et 45 à Nioro.

Il faut signaler qu'à peu près 70% des personnes enquêtées de chaque zone d'étude ne sont pas scolarisées, soit 60% à Nioro et 76% à Diéma.

Dans la localité de Nioro du Sahel, 20% des personnes enquêtées sont alphabétisées en arabe contre 10% à Diéma. Les personnes alphabétisées en Français s'élèvent à 11% à Nioro contre 7% à Diéma.

Le tableau 1 : Le niveau d'éducation des personnes enquêtées des zones d'étude.

Niveau instruction	Nioro	Diéma
Aucun	60%	76%
Primaire	5%	5%
Secondaire	4%	2%
Alphabétisé	11%	7%
Arabe	20%	10%

L'analyse du tableau 2 montre la variation des ethnies enquêtées des deux zones pastorales. Il faut souligner que le nombre d'ethnies enquêtées est plus élevé à Diéma qu'à Nioro, au total, il a été enquêté 11 ethnies dont 5 à Nioro et 6 à Diéma. Il existe des ethnies communes des 2 zones d'étude, qui sont les peulh avec 73% à Nioro, 49% à Diéma, les Bambara 2% à Nioro, 7% à Diéma. Cela nous montre à suffisance que la communauté peulh pratique l'élevage plus que les autres au niveau de Nioro, quant à la localité de Diéma, hormis les peulh, il existe d'autres communautés qui pratiquent l'élevage telles que les Khasonké 12%, Sarakolé 12% et Diawambé 12%.

Tableau 2 : Le pourcentage des ethnies enquêtées dans les zones d'étude

Ethnies	Nioro	Diéma
Peulh	73%	49%
Sérere	24%	-
Wolof	0,39%	-
Bambara	2%	7%
Soninké	-	14%



Khasonké	-	12%
Malinké	-	3%
Diawambé	-	12%
Maure	-	3%
Autres	1%	-

La démographie galopante qui conduit à une augmentation des superficies cultivées en est également une cause de modification des itinéraires de transhumance.

Sur ces pistes de transhumance et zones de concentration, certaines espèces d'herbes bien appréciées par les animaux ont disparu et d'autres en voies de disparition. Si les pasteurs transhumants sont favorables à la matérialisation de la piste, les populations sédentaires des villages sont réfractaires (CEPAP, 2013).

La perception de la population sur l'impact de la transhumance sur les ressources pastorales est illustrée par la figure 1

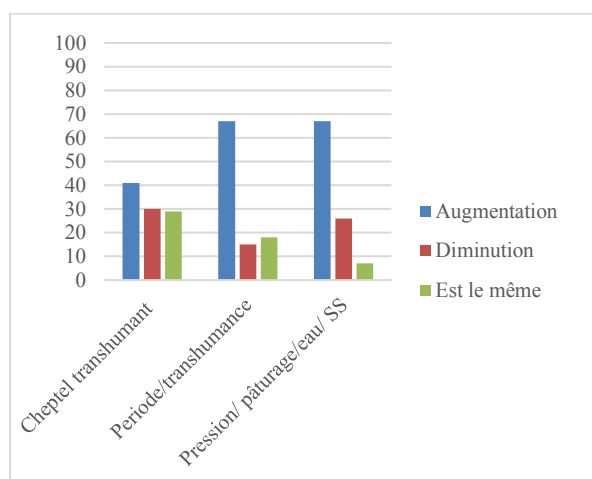
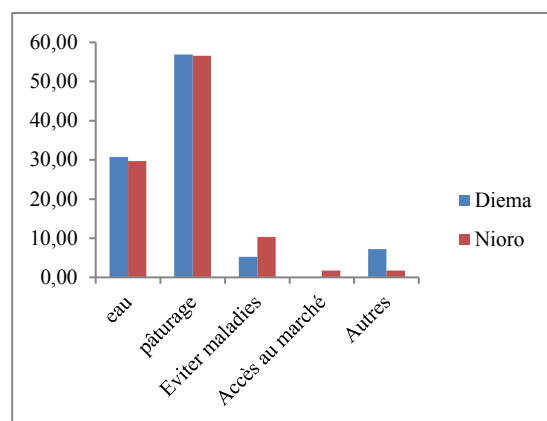


Figure 1 : Perception de la population de l'impact de la transhumance sur les ressources pastorales

Il ressort dans l'analyse de la figure 1 que la transhumance devient un facteur limitant pour la conservation des ressources pastorales. Ce phénomène se justifie par une augmentation accrue du troupeau transhumant selon 41% des enquêtés ; un temps de séjour élevé des troupeaux selon 67% et enfin le tarissement précoce des points d'eau selon 67%

Le but de la transhumance selon les personnes enquêtées dans les zones d'étude est illustré par la figure2



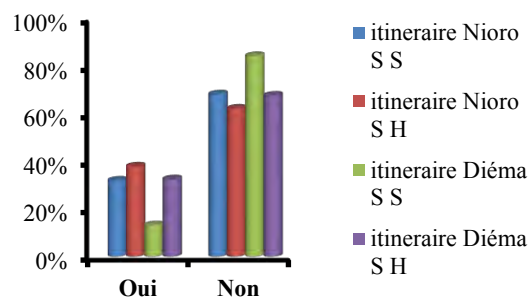
Legende : ax : animaux

Figure2: Le but de la transhumance selon les personnes enquêtées dans les zones d'étude

L'analyse de cette figure 4 montre que les raisons de la transhumance sont nombreuses et diversifiées dans chaque zone d'étude. On constate que le besoin en pâturage (56) et en eau (30%) constituent les principales raisons de transhumance dans les deux zones d'étude. Les autres raisons telles que : éviter l'inondation, les maladies des animaux, accès au marché à bétail et autres ne sont évoquées que par moins de 30% des enquêtés.

Si le pâturage et l'eau sont les principales raisons de la transhumance, leur disponibilité est fonction de la saison. En zone soudano sahélienne, il y a plus de bons pâturages et d'eau en saison pluvieuse qu'en saison sèche.

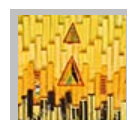
La perception des agro-pasteurs par rapport au changement d'itinéraire de transhumance selon la saison sèche et humide est illustrée par la figure 5.



Legende : S S : Saison Sèche ; S H : Saison Humide

Figure3: Perception des agro-pasteurs par rapport au changement d'itinéraire de transhumance selon les saisons

Il ressort de l'analyse de la figure 5 que 62% à 84% des agro-éleveurs enquêtés des zones d'étude pensent qu'il n'y a pas de changement des itinéraires de transhumance pendant la saison sèche et humide. Par contre 16% à 38% de ces personnes trouvent que les itinéraires de transhumance changent quelque soit la saison. A cet effet, il n'y a pratiquement pas de changement notable d'itinéraire selon les



agropasteurs malgré les effets des changements climatiques et la pression agricole observés.

Le nombre de mois et les distances parcourues par les animaux pendant la transhumance au niveau du cercle de Diéma et de Nioro du sahel est rapporté dans le tableau 7.

En effet, il a été observé une durée de 5,4 mois pour une distance de 208,7 km à Nioro du sahel contre 6,5 mois pour 270,41 km dans le cercle de Diéma.

Tableau7: Durée et distance de parcours pendant la transhumance

Cercle	Durée de transhumance	Distance parcourue (km)
Nioro du sahel	5,4mois	208,7 km
Diéma	6,5 mois	270,41 km

La perception de la population enquêtée sur les causes du changement climatique illustrée par la figure 4.

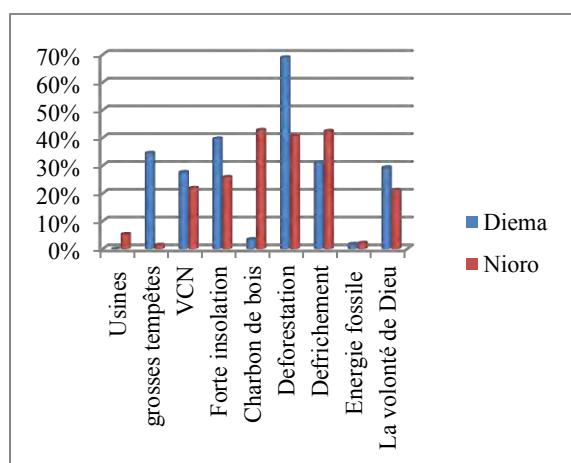


Figure4: Les causes du changement climatique constatées par la population enquêtée

L'analyse de la figure 4 montre les causes des changements climatiques constatées par la population des localités d'étude. En effet, les populations trouvent que les causes du changement climatique sont nombreuses et variées. On peut entre autres citer : la coupe abusive des ligneux (70% à Diéma contre 40% à Nioro), les brûlis des champs (défrichements 45% à Nioro contre 35% à Diéma) et les vents violents (grosses tempêtes). Parmi les personnes enquêtées certaines pensent que ce changement est dû à la volonté de Dieu (30% à Diéma contre 25% environ à Nioro).

3.3 Composition et richesse floristique des herbacées sur les pistes de transhumance

76 espèces herbacées ont été recensées dont 45 à Diéma et 42 à Nioro du sahel. On note également la

présence de 26 espèces communes, avec 22 espèces spécifiques à Diéma et 16 à Nioro du sahel.

Dans les pistes de la zone pastorale de Lakamané, il a été recensé au total 54 espèces pour 34 genres et 16 familles. Les familles des espèces les plus dominantes sont les Poaceae 44,44% suivi des Fabaceae 14,81% et des Convolvulaceae 11,11%.

Dans les pistes de transhumance de la zone pastorale de Korokodio, il a été inventorié 41 espèces pour 29 genres et 15 familles. Les familles des espèces les plus dominantes sont les Poaceae 31,70%, suivi des Rubiaceae 12,19%, Cucurbitaceae, convolvulaceae Fabaceae avec 7% chacune

Tableau 4 : Familles des herbacées et leur contribution en % au nombre d'espèces dans la zone pastorale de Lakamané

Familles	Contribution (%)	
	Lakamane	Korokodio
POACEAE	44,44	31,7
FABACEAE	14,82	7,31
CONVOLVULACEAE	11,11	-
TILIACEAE	5,56	-
CAESALPINIACEAE	3,70	-
AMARANTHACEAE	-	4,87
RUBIACEAE	-	12,19
Autres	20,37	43,93

Sur la base de la production de biomasse sèche obtenue, il a été évalué la capacité de charge théorique de chaque zone pastorale.

La capacité de charge de chaque zone a été calculée sur la base de la formule : 1 UBT = 6,25 kg de MS par jour. Sur la base de cette formule, nous avons calculé la consommation d'1 UBT pour une période de 8 mois sachant que la saison sèche couvre d'octobre à mai. De ce fait nous avons évalué la capacité de charge de nos parcours sur huit (8) mois. La capacité de charge est plus importante à Lakamané qu'à korokodio. Elle est de 0,88 UBT/ha/pendant 8 mois à Lakamané contre 0,68 UBT/ha/pendant 8mois à Korokodio.

La valeur pastorale est plus élevée à Korokodio qu'à Lakamané avec respectivement 62,09% et 60,71%.

La faible précipitation a un effet positif sur la valeur pastorale des espèces rencontrées. Par contre d'autre auteur Karembé (2009), rapporte que le pâturage surtout intensif a une influence négative sur la valeur pastorale herbacée dans un parcours, et cela par l'effet broutage qui diminue l'installation des jeunes pousses engendrant la baisse de toute qualité pastorale.

Il ressort de l'analyse et de l'observation du tableau que la production de biomasse sèche est faible sur l'ensemble des pistes de transhumance des zones pastorales, mais elle est plus élevée à Lakamané qu'à Korokodio avec respectivement 1,328 et 1,025 tonnes de matière sèche à l'hectare.



Tableau 9 : Biomasse sèche et capacité de charge des zones d'étude

Rubriques	Lakamané	Korokodio
Production de biomasse sèche	1,328t/ha	1,028t/ha
Capacité de charge	0,88UBT/8mois	0,68UBT/8mois
Valeur pastorale	60,71%	62,09%

IV. DISCUSSION

Les résultats obtenus qui font l'objet de la présente discussion sont :

- Identification et évolution des pistes de transhumance avec les changements climatiques ;
- Détermination de la composition et de richesse floristique des herbacées sur les pistes de transhumance ;
- Evaluation de la production de biomasse et de la capacité de charge sur les pistes de transhumance ;
- Evaluation de la valeur pastorale des pistes de transhumance.

Identification et évolution des pistes de transhumance avec le changement climatique

A Nioro du sahel, il a été identifié 11 pistes de transhumance, 08 zones de concentration et 5 campements. Quant à Diéma, 20 pistes de transhumance avec 16 zones de concentration et 7 campements ont été identifiés. On peut noter qu'il y a plus de pistes et de zones de concentration à Diéma qu'à Nioro. Cependant, ce résultat est inférieur à celui de CEPAP, (2013), qui a souligné dans son rapport d'enquête 15 pistes de transhumance avec 5 zones de concentration et 3 campements.

Par ailleurs, le nomadisme cultural fait changer l'itinéraire de la piste de transhumance d'une année à l'autre dans les zones d'étude, selon des agropasteurs. Les animaux passent à l'est du village et quelques années après c'est à l'ouest qu'ils doivent passer et cela à cause de l'occupation agricole. En plusieurs endroits la disposition des champs réduit considérablement la largeur de la piste. Il n'existe pas de marges entre les champs et la piste de transhumance dans plusieurs terroirs de villages. Cette largeur de la piste se rétrécit du nord au sud où l'espace est concurrencé par l'agriculture et élevage Sy, (2010). Les agriculteurs demandent la réparation des dégâts causés par les animaux dans leur passage, tandis que les bergers se plaignent de la disposition des cultures installées à la bordure de la piste sans marge Dembélé, (1991). Tous ces phénomènes ont contribué à la modification des itinéraires de transhumance.

La démographie galopante qui conduit à une augmentation des superficies cultivées en est également une cause de modification des itinéraires de transhumance.

Selon les agro éleveurs des zones d'étude, la durée de transhumance est de 5,4 mois avec une distance

de 208,7 km parcourue à Nioro du sahel contre 6,5 mois et 270,41 km à Diéma.

Selon les agro-pasteurs les motifs de la transhumance sont nombreuses et on note entre autres : le besoins en pâturage et en eau, éviter l'inondation, les maladies des animaux et accès au marché à bétail. Les mêmes raisons ont été rapportées par Diallo (1991) après une étude sur la transhumance en zone Mali-sud.

Composition et richesse floristique des herbacées sur les pistes de transhumance

76 espèces herbacées ont été recensées dont 45 à Diéma et 42 à Nioro du sahel. On note également la présence de 26 espèces communes, avec 22 espèces spécifiques à Diéma et 16 à Nioro du sahel.

Les familles des espèces les plus dominantes des pistes de Lakamané sont : les Poaceae avec 44,44%, suivi des Fabaceae 14,81% et des Convolvulaceae 11,11%.

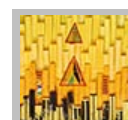
Par rapport aux pistes de korokodio, les familles des espèces les plus dominantes sont les Poaceae (31,70%) suivi des Rubiaceae (12,19%), et convolvulaceae Fabaceae avec 7% chacune.

Ce résultat est comparable à celui de Fané (2012), qui avait trouvé dans les mêmes zones, les familles des Poaceae, étaient plus dominantes que les Convolvulaceae, les Rubiaceae, les Fabaceae. Plusieurs auteurs s'accordent sur la prédominance de ces familles dans la flore soudano-sahélienne (Boudet et Lebrun, 1986). Ces derniers signalent que la flore du Mali est dominée par les Poaceae, les Fabaceae et les Cypéraceae.

Production de biomasse sèche et capacité de charge sur les pistes de transhumance

Quand bien même il est difficile de prédire la production des herbacées dans les zones Soudano-sahéliens (Watkinson, 2001), la production de biomasse sèche est faible sur l'ensemble des pistes de transhumance des zones pastorales. Cependant, elle est plus importante dans la zone pastorale de Lakamané (1,328t/ha) qu'à Korokodio (1,025t/ha) et cela à cause de la différence de la pluviométrie entre les deux zones. Lakamané est situé dans le bioclimat soudanien donc plus arrosé que Korokodio qui est au Sahel. Cette production obtenue corrobore à celle rapportée par De Ridder et al (1982) après une étude sur la productivité des pâturages sahéliens au Mali. La capacité de charge sur les pistes pastorales est faible et cela quelque soit la zone d'étude. Elle est de 0,88 UBT/ha/pendant 8 mois à Lakamané contre 0,68 UBT/ha/pendant 8 mois à Korokodio. Ce résultat est similaire à celui de Koné (2011) qui avait trouvé moins d'une UBT dans les mêmes localités. Evaluation de la valeur pastorale des pistes de transhumance

D'après les résultats de l'étude, la valeur pastorale est fonction de la qualité des espèces dans un milieu ainsi que leurs contributions spécifiques Daget et Godron, (1995).



Le bioclimat sahélien favorise les facteurs de qualité pour les pâturages comme la valeur pastorale. La faiblesse des précipitations a un effet positif sur la valeur pastorale des espèces rencontrées Akpo, (2003). Par contre d'autres auteurs rapportent que le pâturage surtout intensif a une influence négative sur la valeur pastorale herbacée dans un parcours et cela par la dominance des espèces moins appréciées Karembé et al (2009), Karembé, (2001).

La valeur pastorale des zones d'étude est respectivement de 62,09% dans les pistes de transhumance de Korokodio contre 60,71% dans celles de Lakamané. On peut retenir que les valeurs pastorales de nos pistes de transhumance sont de qualité moyenne, car il est généralement admis qu'une bonne végétation pour l'élevage est caractérisée par une valeur pastorale de l'ordre de 65% (Daget et Godron, 1995 in Nacro et al, 2007).

V. CONCLUSION

Le sous-secteur de l'élevage constitue l'un des secteurs productifs où les pays du Sahel ont un avantage comparatif certain. Au regard de la demande croissante en produits d'élevage dans la sous-région, ainsi que de son rôle très important dans le développement de l'agriculture (apport de fertilisants organiques et de force de travail), le système d'élevage transhumant pourrait contribuer fortement à la réalisation d'une croissance économique soutenue, ainsi qu'à l'amélioration durable des soldes commerciaux.

Cependant ce système est confronté aux différents problèmes liés aux changements climatiques qui sont entre autres la baisse de la pluviométrie, la croissance numérique des troupeaux, l'embavement anarchique des couloirs de transhumance.

Les résultats obtenus au terme de la présente étude ont permis de comprendre l'impact des changements climatiques sur l'évolution du système d'élevage transhumant notamment dans le cercle de Diéma et de Nioro dans la région de Kayes.

Les pistes de transhumance du cercle de Diéma et de Nioro du Sahel ont été identifiées. Au total 11 pistes de transhumance, 08 zones de concentration et 5 campements au niveau de la zone pastorale de Korokodio (Nioro du Sahel). A Diéma, 20 pistes de transhumance avec 16 zones de concentration et 7 campements ont été identifiés. Le nombre des mois et la distance parcourus, par les animaux transhumants sont évalués à 5,4 mois pour une distance de 208,7 km à Nioro du sahel, contre 6,5 mois pour 270,41 km dans le cercle de Diéma.

Les principales raisons de transhumance dans les deux zones d'étude sont : la recherche de bons pâturages et le besoin en eau.

Les 62% à 84% des agro-éleveurs enquêtés des zones d'étude pensent qu'il n'y a pas de changement des itinéraires de transhumance pendant les saisons sèches et humides. Par contre, 16% à 38% de ces

personnes trouvent que les itinéraires de transhumance changent quelque soit la saison.

Dans les zones d'étude, 65% des personnes enquêtées envoient en transhumance la totalité de leur troupeau de bovins contre 75% pour les troupeaux de petits ruminants. Donc l'essentiel des agro-éleveurs envoient tous leurs troupeaux de bovins et petits ruminants en transhumance.

Les causes du changement climatique sont : la coupe abusive des ligneux (70% à Diéma contre 40% à Nioro), les brûlis des champs (défrichements 45% à Nioro contre 35% à Diéma) et les vents violents (grosses tempêtes). Certaines personnes enquêtées pensent que ce changement est dû par la volonté de Dieu (30% à Diéma contre 25% environ à Nioro).

La production de biomasse sèche est faible sur l'ensemble des pistes de transhumance des zones pastorales, mais elle est plus élevée à Lakamané qu'à Korokodio avec respectivement 1,328 et 1,025 tonnes de matière sèche à l'hectare.

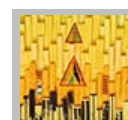
La capacité de charge est de 0,88 UBT/ha/pendant 8 mois à Lakamané, contre 0,68 UBT/ha/pendant 8 mois à Korokodio. La valeur pastorale est plus élevée à Korokodio qu'à Lakamané avec respectivement 62,09% et 60,71%.

Vu la place qu'occupe le secteur de l'élevage dans l'économie nationale, il est nécessaire d'aller vers une intensification des systèmes d'élevage plus économiques, rentables et moins destructeurs pour l'environnement. Ceci passe nécessairement par une amélioration du système d'exploitation des parcours naturels et de la conservation des ressources herbacées.

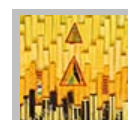
Par ailleurs, pour confirmer les résultats obtenus, il serait nécessaire de poursuivre cette étude sur un certain nombre d'année et de l'étendre si possible sur d'autres zones de transhumance au Mali.

REFERENCES

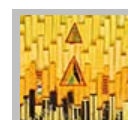
1. AKPO L.E. et GROUZIS M. (2003). Valeur pastorale des herbages en région soudanienne, le cas des parcours sahéliens du Nord-Sénégal. *Tropicultura*, 18 p.
2. Amevor K. A., 2011 : effet du gradient climatique sur la production et la biodiversité des herbacées au Mali. Mémoire de fin de cycle de DEA à la FST, 52p.
3. Ballo M. 1996 : Production et l'amélioration des ressources pastorales des jachères en zone soudanienne Nord au Mali. Mémoire de fin d'étude, 16, 17, 18 p.
4. Ballo M., 2005 : Impact du gradient anthropique du sol sur la structure et la diversité de la végétation ligneuse de la Réserve de la Biosphère de la Boucle de Baoulé. Mémoire de DEA, Option : Population-environnement "Gestion Durable des Ressources Naturelles" ISFRA Université de Bamako, 65 p.



5. Barry. ; 2013 : Rapport d'enquête et de la localisation géo-référencié des pistes de transhumance, 23p.
6. Berhaut J.1967 : flore du Sénégal. 2^{ème} édition, 485p.
7. Boudet G., 1979. Evolution de la végétation sur les fluctuations du couvert végétal sahélien dans le Gourma malien et leurs conséquences pour une stratégie de gestion sylvo-pastorale, 34-44 p.
8. Boudet 1984 : Manuel sur les pâturages tropicaux et les ressources fourragères, 45p.
9. Boudet 1989 : Evolution de la végétation sur les fluctuations du couvert végétal sahélien dans le Gourma malien et leurs conséquences pour une stratégie de gestion sylvo-pastorale, 37p
10. CEPAP 2013 : Rapport : Rapport d'enquête et de la localisation géo-référencié des pistes de transhumance, 23p.
11. Cissé A., 1986 : Dynamique de la strate herbacée des pâturages de la zone Sud sahélienne. PPS CABO, 211 p.
12. CPS 2011: ministère de l'agriculture, 17p.
13. Daget. Godron., 2007 : Annale botanique de l'Afrique de l'ouest, 21, 30, p.
14. Daget P. et Godron M., 1995 : Pastoralisme. Troupeaux, espaces et sociétés. HATIER-AUPELF, 510 p.
15. Dembélé, F., Karembé, M., Gerbe, A., Gautier, D., 2004. 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 technique du Projet ROSELT, Institut d'Economie Rurale, Bamako, Mali, 93p.
16. 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. 3^{ème} Conférence International sur l'analyse multidisciplinaire de la mousson Africaine. Ouagadougou 2009. 184p.
17. Dembélé S., 1991 : Transhumance en zone du Mali sud contraintes et potentialités : cas du cercle de Kolondiéba. Mémoire de fin d'étude IPR/IFRA de Katibougou, 42p.
18. Dembélé et Karembé 2006 : Suivi-écologiques des terres de parcours en zone sahélo-saharienne au Mali, 23p.
19. Dembélé, F., Karembé, M., Gerbe, A., Gautier, D., 2004. 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).
20. De Ridder N., 1982 : manuel sur les pâturages des pays sahéliens, Paris Wageningen Karthala, A.C.C-T.-Abol- D.L.O.-C.T.A., 485p
21. DNCN, 2000 : Rapport National, 15p.
22. DNSI., 2009: Rapport annuel d'activité, 74p.
23. Diallo M. B., 1991 : Contribution à l'étude de facteurs d'intégration de l'élevage transhumant dans un terroir agro-sylvo-pastoral dans le cercle de Yorosso : cas de Mahou. Mémoire de fin de cycle de l'IPR/IFRA de Katibougou, 43p
24. Doutressoule., 1986 : Impact de la sécheresse sur le milieu pastoral sahélien, 47p.
25. FAO. 2003 : Rôle des plantations forestières et des arbres hors forêts dans l'aménagement durable en République du Mali. Rapport d'étude.
26. Fané S. ; 2012 : effet du feu et de la pâture sur la dynamique de la végétation en fonction du gradient climatique au mali. Mémoire de fin d'étude de l'IPR/IFRA de Katibougou 60p.
27. Karembé M., 2001 : La production végétale et utilisation des ressources pastorales des jachères en zone soudanienne au Mali. Thèse de Doct. de l'Univ du Mali. 155p.
28. 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. 3^{ème} Conférence International sur l'analyse multidisciplinaire de la mousson Africaine. Ouagadougou 2009, 193p.
29. Karembé M. et Dembélé F., 2006 : Suivi écologiques des terres de parcours en zone Sahélo-saharienne au Mali, 40p.
30. Koné G., 2011 : Etude de l'influence du feu et de la pâture sur la production et la qualité pastorale de la strate herbacée le long du gradient climatique au mali. Mémoire de fin de cycle IPR/IFRA de Katibougou, 57p.
31. Maiga A. Y., 1992. Teledetection et utilisation de terres. Cas de Missira, Réserve de la Biosphère de la Boucle de Baoulé. Communication au Séminaire Bilan sur les recherches relative au sylvo-pastoralisme au Sahel. Dakar, Sénégal, 7-12 Mai 1992, 8p



32. MEATEU, 2000: Stratégie National en Matière de Biodiversité Biologique. Tome 1, Tome 2.
 33. Merlier H., 1992 : Herbier et Semencier, 4^{ème} édition, 70p.
 34. Nasi 1994 : La végétation du centre d'endémisme soudanien dans la forêt des Monts Mandings au Mali.
 35. Nicolas et al., 2006 : évaluation de la productivité et de la biomasse des savanes sèches africaines
 36. Nouvellet et al. 2000 : La productivité de jachères dans la zone de Cinzana au Mali.
 37. Penning De Vires et Djitèye 1982 : La productivité des pâturages sahéliens.
 38. PIRT, 1986 : Zonage agro-écologique du Mali. Tome I, Institut National de Recherche Zootechnique, Forestière et Hydro-biologique, Sotuba-Mali, 190 p.
 39. ROSELT/OSS., 2006 : Réseau d'Observatoires de Surveillance Ecologique a Long Terme (Observatoire de Bourem). Rapport Technique Final, 91p
 40. Sy O., 2010 : La transhumance transfrontalière source de conflit au Sénégal, 23p.
 41. Traoré et al 2001 : Les systèmes agriculture-élevage au Mali, 77p.
 42. WATKINSON A.R., ORMEROD S.J., 2001. Grasslands, grazing and biodiversity: editors' introduction. J. Appl. Ecol, 237p.
- Sites web consultés
43. <https://www.library.wur.nl/way/catalogue/documents/sahel/manual/manul.htm>: Manuel sur les pâturages des pays sahéliens.
 44. <https://www.afpfasso.fr/index/action/page/id/14/title/Actualites/ref/33>: Atlas des évolutions des systèmes pastoraux au Sahel.
 45. <https://www.fao.org/docrep/017/i2601f/i2601f00.html> : Système d'élevage et changement climatique



Disponibilité fourragère dans le bassin versant de la mare d'Agoufou dans le Gourma Malien

Amidou Goïta¹, Abdoul Kader Kone² et Moussa Karembe¹

¹ Faculté des sciences et techniques, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Mali

²Institut d'Economie Rurale de Sikasso, Mali

Email : amidougoita@gmail.com

RESUME : Agoufou, un point d'eau temporaire au sahel dans le gourma malien depuis les années 1950 est devenu pérenne en 1990 sous l'effet du changement climatiques. Les ressources naturelles du bassin ont connu diverses pressions anthropiques dues à l'installation des villages et la transhumance. L'objectif du présent travail est d'étudier les effets du changement climatique sur la disponibilité fourragère dans le bassin versant d'Agoufou avant et après les grandes sécheresses de 1974 et 1984. La méthodologie adoptée a consisté à la détection des changements de l'occupation du sol à partir de images satellitaires multidates (ETM et ETM+OLI/TIR) couplées avec les sorties terrains afin d'identifier les causes de la pérennisation de la mare et de l'augmentation de son plan d'eau. Une évaluation périodique de la disponibilité fourragère a permis de comprendre l'état des formations végétales. Il ressort de cette étude que les changements climatiques constituent une menace accrue sur la production et la disponibilité de la biomasse herbacée. La pression du cheptel autour de la mare constitue un facteur de dégradation du fourrage disponible. La disponibilité du fourrage herbacée est fonction de distance à la mare dans le temps et dans l'espace. Les mois d'avril-mai connaissent les plus grandes distances allant à 15 km de la mare.

Mots clefs : changement climatique, ressources pastorales, disponibilité, bassin versant d'Agoufou.

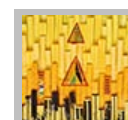
ABSTRACT: Agoufou, a temporary water point in the Sahel in the Malian gourma since the 1950s became permanent in 1990 due to climate change. The natural resources of the basin have experienced various anthropogenic pressures due to the settlement of villages and transhumance. The objective of this work is to study the effects of climate change on fodder availability in the Agoufou watershed before and after the great droughts of 1974 and 1984. The methodology adopted consisted in detecting changes in land use from multirate satellite images (ETM and ETM+OLI/TIR) coupled with land outputs in order to identify the causes of the perpetuation of the pond and the increase in its water level. A periodic assessment of the availability of forage enabled the state of the plant formations to be understood. This study showed that climate change is an increased threat to the production and availability of herbaceous biomass. Livestock pressure around the pond is a factor in the degradation of available forage. The availability of herbaceous forage is a function of distance from the pond in time and space. The months of April-May have the longest distances of 15 km from the pond.

Keywords: climate change, pastoral resources, availability, Agoufou watershed, Mali gourma.

I. INTRODUCTION

Les épisodes de sécheresse des années 1972 et 1984 ont durablement affecté les écosystèmes sahéliens dans les régions nord du Mali. Ces changements climatiques ont beaucoup modifié les systèmes de production agropastoraux notamment les règles de gestion des ressources naturelles par les populations Diallo et *al.* (2011). Dans le gourma, malgré une pluviométrie en dessous de la moyenne, l'accroissement du volume d'eau des mares temporaires persiste pendant une longue période de la saison sèche (Gardelle et *al.* 2010, Leblanc et *al.* 2008). Dans le bassin de la mare d'Agoufou du gourma malien, ces ressources naturelles constituent un réservoir potentiel des ressources pastorales. Les dynamiques saisonnières observées de 2009 à 2011 sont conformes à la tendance du régime des mares observées depuis les années 1950 qui a été étudié sur

les mares de tout le centre Gourma, y compris celles de la commune de Hombori (Gardelle et *al.* 2009). En 1991, en référence à une année pluviométrique très favorable que cette mare temporaire a fini par devenir pérenne ; en témoignent les vestiges des grands arbres (*Anogeissus leiocarpus*) au fond de la mare. C'est la stagnation de l'eau qui est à l'origine de la mort des arbres à la suite de la pourriture de leurs racines par le phénomène d'asphyxie (Diarra, 2011). Cette dynamique des points d'eau de surface a un impact très important sur les activités d'élevage dans la mesure où le volume et surtout le calendrier des disponibilités en eau, gratuite et accessible à tous, sont modifiés. La mare d'Agoufou contribue à une importante augmentation de la charge animale en toutes saisons sur le nord et l'est de la commune de Hombori (Diawara, 2010). Les ressources naturelles du bassin versant de la mare d'Agoufou suscitent



une grande convoitise et en conséquence une forte compétition à cause de sa situation géographique entre la région de Mopti et celle de Tombouctou. En plus des agropasteurs sédentaires, les éleveurs nomades et transhumants viennent du delta intérieur du Niger (Bourgou), du Burkina Faso et même du Niger. Cette exploitation multiforme des ressources du bassin fait l'objet de certains conflits depuis quelques années entre les différents acteurs qui interviennent sur le site. Ces événements extrêmes enregistrés ont des impacts directs sur les ressources pastorales qui font l'objet de cette recherche. La présente recherche se propose de caractériser les ressources pastorales dans le bassin versant de la mare d'Agoufou dans le contexte du changement climatique et suscite à des objectifs suivants : i); estimer l'évolution du fourrage disponible dans le temps et dans l'espace au niveau du bassin versant de la mare d'Agoufou ii) déterminer de la capacité de charge du bassin versant de la mare d'Agoufou et iii) déterminer la variation spatio-temporelle de la surface de la mare d'Agoufou dans le Gourma malien ;

II. MATERIEL ET METHODES

2. 1 Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant de la mare d'Agoufou s'étend entre $1^{\circ} 43' 39''$ et $1^{\circ} 26' 51''$ de la longitude ouest et $15^{\circ} 20' 17''$ et $15^{\circ} 30' 00''$ de la latitude nord. Il couvre une superficie estimée à 28 634,18 ha avec un périmètre de 17 200 m. Du Nord au sud, il est distant environ de 19 km d'est en ouest et de 30 km nord-sud. Il est situé à la limite des communes rurales de Hombori au Nord et au sud-ouest de celle Gossi, à la limite sud-est de celle d'Inadjatafane. Au plan administratif, le site est à cheval sur deux cercles, Gourma-Rharous dans la région de Tombouctou et Douentza dans celle de Mopti. Le bassin de la mare d'Agoufou est traversé par la route nationale RN15 reliant Sévaré à Gao sur près de 400 km bitumée, l'accès est assuré par les transports en commun qui desservent Gao. (cf. carte de localisation).

2.1.1 Climat

La pluviométrie moyenne des 24 dernières années est de 353,5 mm au Sahel. Les années les moins pluvieuses sont 1987, 1997 et 2004 avec moins de 186,8 mm tandis que les années les plus arrosées sont 1994, 1999 et 2010 avec plus de 585 mm (DNM, 2018). (cf. fig1).

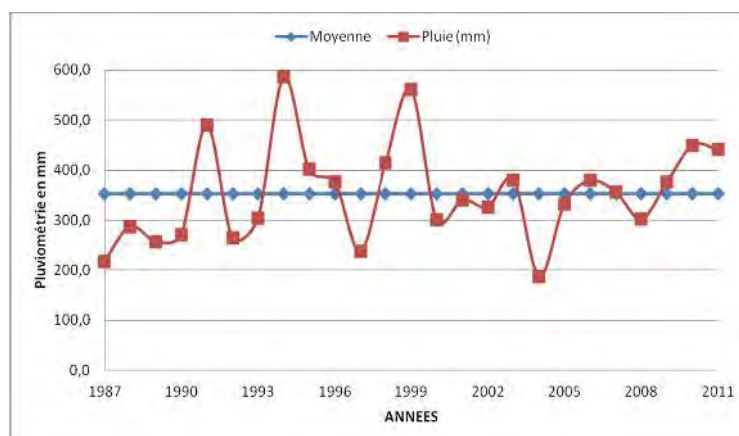


Figure 1: La pluviométrie moyenne annuelle dans le bassin. *Source : DNM, 2018* NB : La Station d'Hombori n'est plus opérationnelle depuis 2012 suite à l'insécurité.



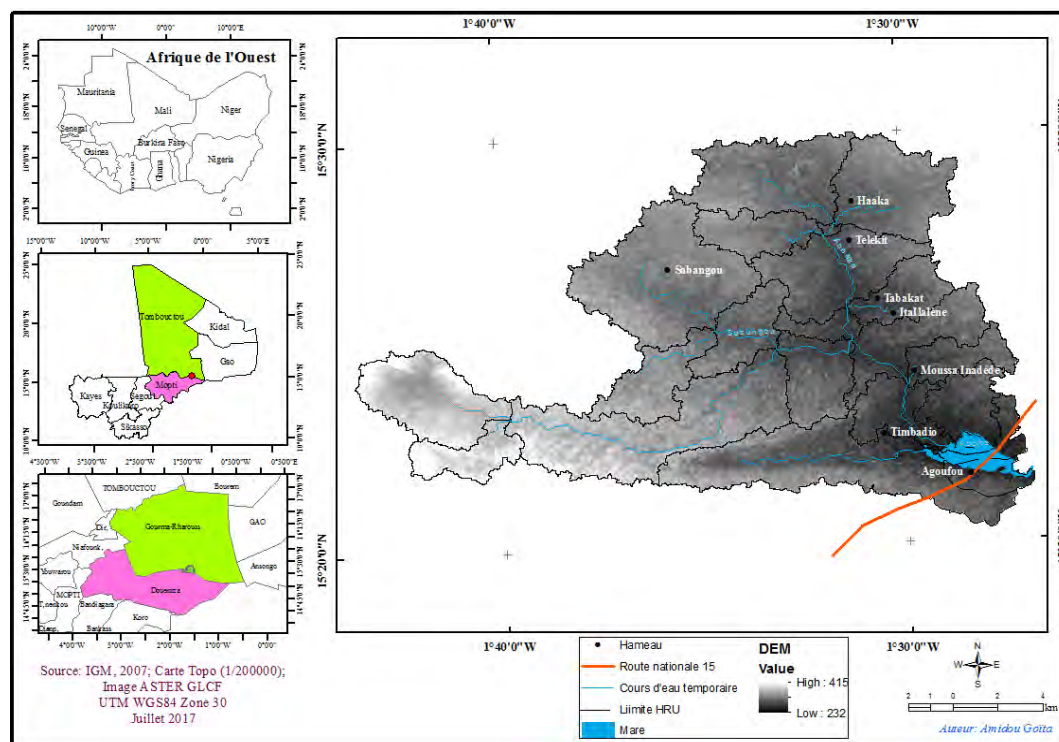


Figure 2: Carte de présentation de la zone d'étude

2.2 Collecte de données

2.2.1 Méthode de délimitation des parcelles agricoles

Pour mener à bien cette étude Google Earth a été utilisée pour délimiter les champs. Ce sont des champs clôturés en haie morte alors bien identifiables sur l'image. Le GPS a été mis à profit pour retrouver ces champs et consolider les résultats.

2.2.2 Méthode d'échantillonnage des sites d'observation

Après la cartographie des unités de formation végétale, nous avons déterminé trois types de formation végétale et trois types d'unité géomorphologique. Les unités de formation végétale sont constituées de la savane arbustive dense, de la savane arbustive semi-dense et de la savane arbustive dégradée ou éparse. Quant aux unités géomorphologiques, elles sont constituées des plaines inondables, des replats dunaires, des dunes et regs. À cet effet, sur la base de ces deux entités (types de formation végétale et unités géomorphologiques), nous avons effectué un échantillonnage stratifié pour l'estimation de la biomasse herbacée. Au total, il a été déterminé 17 sites dont la répartition par type de formation végétale et unités géomorphologiques est rapportée dans la formule ci-dessous. Les expressions des indices de diversité sont :

- L'indice de Shannon-Weaver

$$H' = - \sum_{i=1}^S (P_i) \log_2 P_i$$

i = une espèce du milieu d'étude

Pi = Proportion d'une espèce i par rapport au nombre total d'espèces

(S) dans le milieu d'étude,

LogPi est ici le logarithme à base 2 de Pi

H'=Indice de Shannon varie de 0 à LogS.

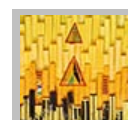
Au cours de cette étude, nous avons déterminé la production de la biomasse herbacée sèche et suivi la disponibilité fourragère dans le bassin.

2.2.3 Détermination de la production de biomasse herbacée

Pour la détermination de la biomasse herbacée dans le bassin, nous avons eu recours à un certain nombre de matériels techniques définis comme suit :

- Un plateau métallique de 25 cmX25 cm pour la délimitation de l'aire de la biomasse à couper et une faucille pour prélever la matière herbacée ;
- Les fiches de relevés phytoécologiques pour noter les données collectées ;
- Un appareil photo pour illustrer les activités sur le terrain ;
- Un GPS modèle Garmin pour le géoréférencement des sites ;
- La flore du Sénégal (Berhaut J., 1967) pour l'identification des espèces ;
- Un crayon papier pour l'enregistrement des données.

Pour l'estimation de la biomasse, il a été choisi quatre placeaux à l'intérieur de chacune des 17 parcelles de 50 m x 50 m. À l'intérieur de chaque placeau, toute la biomasse sur pied a été coupée à



l'aide d'une faucille et mise dans une tasse. À l'aide d'une balance électronique, la biomasse dans la tasse a été pesée pour déterminer le poids exprimé en gramme. Dans chaque parcelle, la biomasse des 04 placeaux a été mélangée pour prendre un échantillon composite.

L'échantillon composite a été pesé pour déterminer son poids puis mis dans un sac à creton avec une étiquette qui porte le numéro du site. Tous les échantillons composites ont été séchés pour la détermination de la matière sèche. Le poids sec des échantillons a été rapporté à l'hectare afin de déterminer la production de matière sèche.

1.2.4 Suivi de la disponibilité de biomasse herbacée à l'échelle du Bassin

Dans le cadre de la mise en œuvre de cette activité, un passage périodique (chaque deux mois) dans les 17 parcelles de 50 m x 50 m a été effectué afin de collecter la masse présente. À chaque passage, à l'aide d'une balance électronique et d'un plateau métallique la masse disponible a été pesée dans la tasse pour déterminer le poids exprimé en gramme. Ensuite, des cartes de disponibilité ont été établies à l'échelle du bassin pour les différentes périodes de suivi.

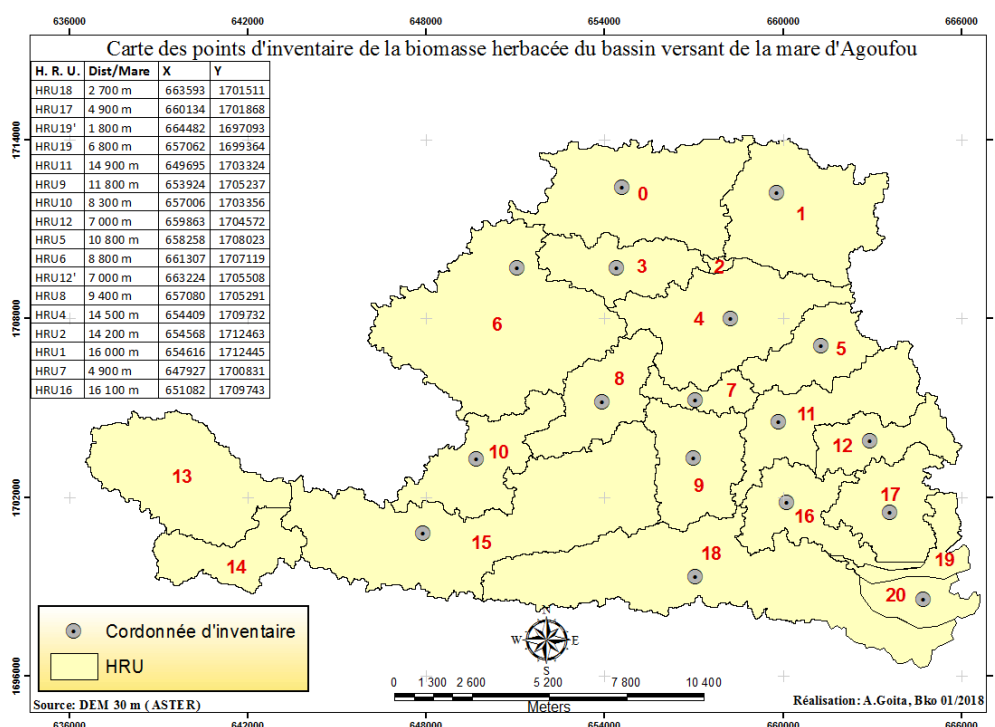


Figure 3 : Carte des points d'inventaires de la biomasse herbacée

2.2.5 Détermination de la capacité de charge

La capacité de charge est le nombre d'unité bétail tropical (UBT) qu'un pâturage peut supporter sans se détériorer (Boudet, 1984).

Elle est calculée sur la base de la production maximale de biomasse en prenant en compte la fraction utilisable qui est de 1/3, puis la consommation journalière d'une UBT.

$$CC = \frac{PMB * k}{6,25 * P}$$

Soit CC : Capacité de charge

PMB : Production maximale de biomasse

K : la fraction de biomasse utilisable

6,25 : consommation journalière d'une UBT

P : période d'utilisation du pâturage soit 8 mois

2.2.6 Etablissement du bilan fourrager

Le bilan fourrager est l'un des indicateurs clé du suivi évaluation des pâturages. Il permet de maintenir l'équilibre entre le disponible fourrager et le besoin animal. Il a été calculé à l'aide la formule suivante :

Bilan fourrager = Disponible fourrager(TMS) - Besoin animal (TMS)

Les paramètres suivants ont été pris en compte

Disponible fourrager :

- La production de phytomasse herbacée en tenant en compte la fraction utilisable 1/3 (Toutain et Lhoste, 1978)
- La production de résidus de culture, la principale spéculation cultivée dans le bassin est le mil. La fraction utilisable de ce dernier est de 35% (Toutain et Lhoste, 1978)
- La superficie pâturable du bassin.



- Dans ce bilan la production de la biomasse aérienne n'a pas été prise en compte.

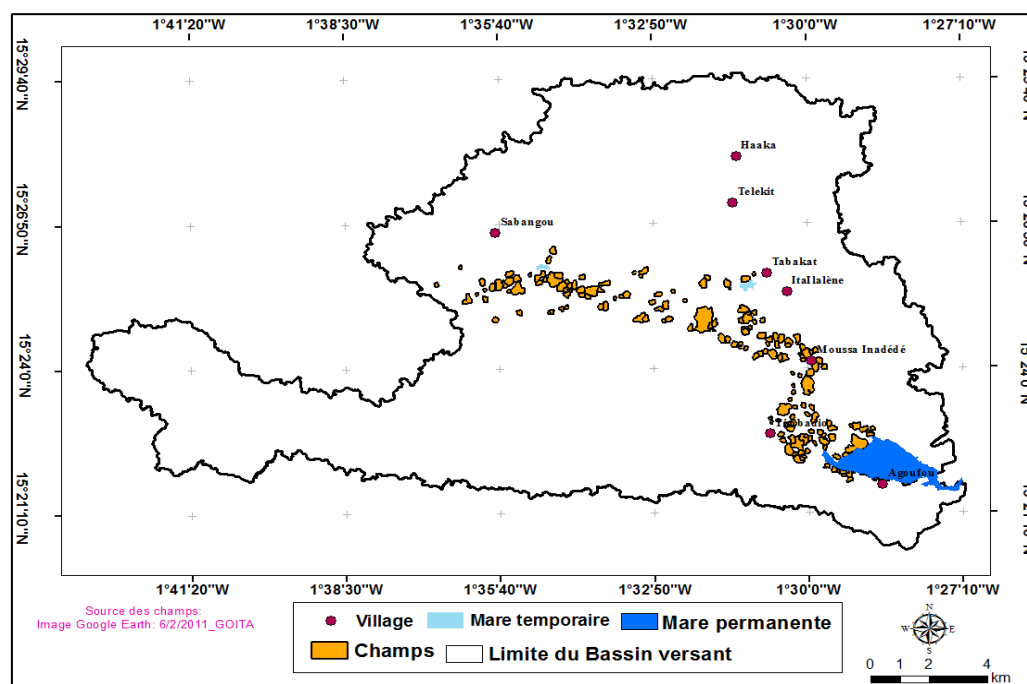
Besoin animal

- Les effectifs du cheptel ont été convertis en UBT (Meyer, 2019) ;
- La consommation journalière de l'UBT qui 6,25 kg MS (Boudet, 1983) ;
- La période d'utilisation de pâturage qui est de 9 mois soit 270 jours

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les principaux résultats portent l'anomalie de la pluviométrie dans le bassin, l'estimation de la production de la biomasse herbacée et le suivi de la disponibilité fourragère dans le bassin de la mare d'Agoufou, le suivi de la disponibilité fourragère à l'échelle sous bassin du bassin versant d'Agoufou, la disponibilité fourragère à l'échelle distance de la mare dans le temps.

3.1 Les champs comme facteur de réduction de l'espace pastorale



Carte 4 : Les parcelles agricoles dans le bassin

3.2 Effectif des troupeaux dans le bassin de la mare d'Agoufou

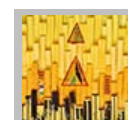
Le tableau 5 rapporte l'effectif des troupeaux (sédentaires et transhumants) qui pâturent dans le bassin de la mare d'Agoufou selon le recensement de 2014-2015 (HEP-Sahel, 2011, Diarra F., 2015). Il ressort de la lecture du tableau que le bassin de la mare d'Agoufou est exploité par deux types de troupeaux qui sont les sédentaires et les transhumants. Les troupeaux sédentaires sont constitués de plusieurs types d'animaux, dont les bovins, ovins, caprins, asins et dromadaires. L'effectif total de ces troupeaux sédentaires recensés

Le bassin d'Agoufou est une zone d'élevage par excellence. Aujourd'hui, la pratique tend à être menacée par l'installation des champs. Cette installation s'est faite progressivement avec la sédentarisation des populations dans le bassin depuis la pérennisation de la mare en 1991 (Hama MAÏGA). Ces champs sont installés tout au long des chenaux d'alimentation et au tour de la mare soit 235 parcelles au total. Les conflits entre agriculteurs et éleveurs a comme source principale les champs qui obstruent les chemins d'accès à la mare. L'agriculture dans le bassin est extensive caractérisée par le système de boccage, c'est-à-dire des champs fermés (clôturés) par des haies mortes, contrairement aux principes de la couverture permanente du sol par les résidus de récoltes en agriculture de conservation. A la récolte les résidus sont conservés aux animaux du seul propriétaire. Elle est pratiquée par les sédentaires sonrhais, tamachèques hydrophanes, mossi, dogon et peulhs.

en 2014 est de 1774 têtes (Enquête, 2014). Quant aux troupeaux transhumants, leur effectif est environ 60 000 têtes par an. Ainsi, en 2014 le nombre total d'animaux domestiques dans le bassin est de 1774 têtes.

Tableau 1 : Effectif des troupeaux dans le bassin de la mare d'Agoufou.

Cheptel	Troupeaux sédentaires	Troupeaux transhumants	Cumul
Bovin	720	60000	60720
Ovin	486	-	486



Caprin	433	-	433
Asin	86	-	86
Dromadaire	49	-	49
Total	1774	60000	61774

3.3 Estimation de la production de la biomasse herbacée et le suivi de la disponibilité fourragère dans le bassin de la mare d'Agoufou.

La productivité des pâturages sahéliens varie d'une année à l'autre avec la pluviosité. Des estimations de productivité devraient être effectuées chaque année en fin de saison pluvieuse, afin d'évaluer les possibilités de charge admissibles au cours de la saison suivante. La production de biomasse dans le bassin d'Agoufou varie suivant les unités d'occupation du sol et formation végétale, ainsi les savanes arborées et les savanes arbustives interdunaires ont une productivité élevée en biomasse par rapport aux savanes arbustives sur dunes stabilisées et aux savanes arbustives éparses sur sol argileux. Dans le bassin d'Agoufou, la disponibilité fourragère est question de distance, de saison et effectif du troupeau.

3.4 Suivi de la disponibilité fourragère à l'échelle sous bassin du bassin versant d'Agoufou.

La carte 8 illustre la dynamique de la disponibilité fourragère par sous-bassin dans le bassin versant de la mare d'Agoufou d'octobre 2016 à février 2017. Il ressort de cela que la production de la biomasse herbacée connaît une baisse de rendement tous les deux mois. Le rendement maximum par sous-bassin ou HRU qui était de 580 kg/ha MS en octobre est passé à 270 kg/ha MS en décembre soit une régression de 50 % de production. En février 2017, il n'y avait pas de paille disponible sur le terrain, et cela dans tous les sous-bassins retenus. La disponibilité fourragère dans un parcours est un bon indicateur de pression pastorale. Elle a été suivie par sous-bassin (HRU) d'octobre 2017 à février 2018 sur l'ensemble du bassin versant de la mare d'Agoufou. La biomasse herbacée disponible sur le terrain en fin hivernage connaît une forte régression (50 %) tous les deux mois. En effet, sur 9 mois environ de saison sèche les animaux n'ont presque rien à brouter dans les pâturages pendant 5 mois. Ceci entraîne de fortes mortalités du cheptel par manque d'alimentation en saison sèche notamment les mois d'avril, mai et juin.

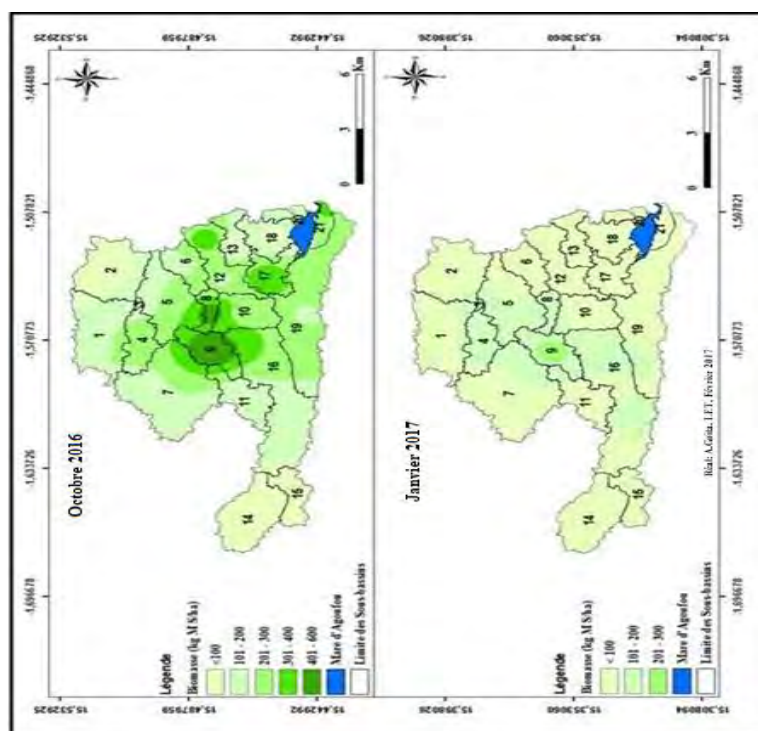


Figure 5 : Dynamique de la disponibilité fourragère par sous- bassin dans le bassin versant de la mare d'Agoufou

3.5 Détermination de la capacité de charge

La production de biomasse autorise des charges variables en fonction des unités de formation végétales. La savane arbustive dense avec une production de 1,73 T MS/ha autorise une capacité de charge de 0,34 UBT/ha pour 9 mois. La savane arbustive moins productive (1,1T MS/ha) que la précédente autorise une charge de 0,22 UBT/ha pour

la même période. L'unité de formation la moins productive est la savane dégradée avec une production 0,265 TMS/ha soit une capacité de charge de 0,05 UBT/ha. Dans le bassin versant l'ensemble des unités de formation ont d'un demi-UBT par ha. Cela s'explique par faible production de la biomasse qui est conditionné par le facteur climatique.

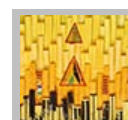


Tableau 2: Capacité de charge par unité de formation végétale

Unité Formation Végétale	Production de biomasse	Capacité de charge
SAD	1730	0,34
SA	1100	0,22
SAE	820	0,16
SD	265	0,05

Légende : SAD : Savane arbustive dense ; SA : Savane arbustive ; SAE : Savane arbustive éparse ; SD : Savane arbustive dégradée.

3.6 Bilan fourrager

Le bilan fourrager est un indicateur clé de suivi évaluation des pâturages. Il permet de maintenir l'équilibre entre le disponible fourrager et le besoin animal dans la zone concernée. Dans le bassin versant de Agoufou le disponible fourrager est égal à 37430 t MS et le besoin animal est égal à 82329 TMS. Le bilan fourrager du bassin est déficitaire avec – 44899 TMS soit un écart de -45,46%. Cela veut dire que la production herbacée et résidus de culture est inférieure à la capacité de d'accueil du cheptel.

3.7 Disponibilité fourragère à l'échelle distance de la mare dans le temps et dans l'espace

Les pâturages sont disponibles et abondants pendant les mois d'Aout à octobre dans tout le bassin. Ils

commencent à manquer aux mois de novembre à décembre sur une distance de quatre (04) kilomètres. Les mois d'Avril à Juin sont les plus dépourvus en herbacés, le peu de ressources est disponible sur distance allant de huit (08) à quatorze (14) kilomètres cf. carte 07.

Et cet état de fait est identique tous les ans depuis les années 1992, après la pérennisation de la mare selon nos enquêtes. Les relevés phytoécologiques devraient être effectué continuellement afin d'évaluer les possibilités de charge admissibles au cours de la saison suivante.

Malheureusement, les mesures strictes d'interdiction de rouler les engins à deux roues dans la zone d'étude faute d'insécurité qui prévaut avec ses corollaires de vandalisme, de braquage et de pillages dans la zone, les travaux à des distances lointaines de la mare est périlleux.

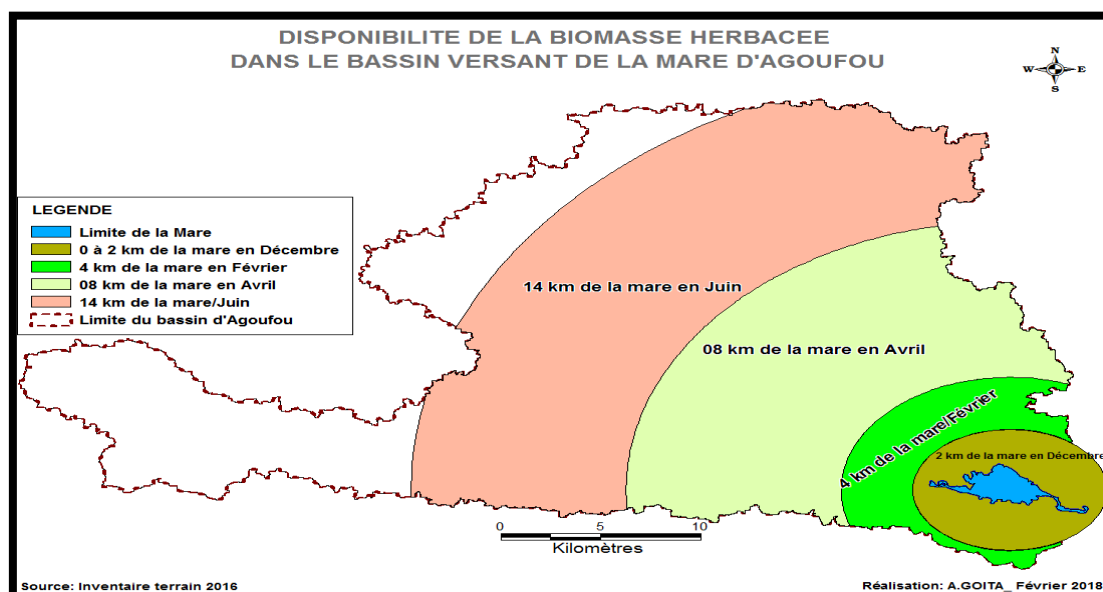
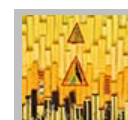


Figure 6: Disponibilité de la biomasse herbacée dans le bassin versant d'Agoufou

IV. DISCUSSION

Des résultats similaires ont été rapportés par Kanambaye (2014) dans le cadre d'une étude d'impact des changements climatiques sur l'évolution du système d'élevage transhumant dans les zones de Nioro et Diéma. Ces résultats confirment aussi ceux de Abdoulaye (2008), qui a travaillé sur l'analyse paysanne sur les causes et

conséquences du changement climatique sur la gestion des ligneux fourrages dans le bassin du fleuve Sénégal au Mali. Selon Coulibaly (2011), c'est en novembre et décembre de chaque année qu'on rencontre le maximum d'animaux autour de la mare avec un effectif pouvant atteindre 20 000 bovins et autant de caprins et ovins. Ceci entraîne une surcharge en cheptel de la zone. Le bassin d'Agoufou



supporte à peine la moitié de la charge qu'il subit et par conséquent, très sûr pâturé, à la limite de la dégradation totale de ses ressources (Djibo, 2011, Diarra F, 2015).

4.1 Estimation de la production de la biomasse herbacée et le suivi de la disponibilité fourragère dans le bassin de la mare d'Agoufou

Ces résultats sont corrélés avec ceux de (Djibo, 2011, Diarra, 2015) qui a travaillé sur la densité ligneuse dans le bassin de la mare d'Agoufou. Les arbres sont plus denses dans les interdunes que sur les dunes et c'est au niveau de ces premières qu'aussi la production herbacée est importée (Hiernaux et Akpo, 2012). En effet, selon Akpo (1998 et 2006) et Amevor (2011), le couvert ligneux influe positivement sur la production et la diversité herbacée au Sahel. L'eau étant le facteur limitant pour les pâturages au Sahel (Penning de Vries et Djitéye, 1982, Diarra F, 2015), elle est plus disponible sous les arbres que hors des arbres.

4.2 Suivi de la disponibilité fourragère à l'échelle du bassin d'Agoufou

Des résultats similaires ont été rapportés par Karembé et al, (2008), après un suivi de la disponibilité de la paille entre 2007 et 2008 dans le bassin du fleuve Sénégal au Mali. Ces derniers soulignent une abondance de la ressource au mois d'octobre et sa rareté en janvier. Selon ces auteurs, le mois de mai constitue la période critique où cette disponibilité est inférieure à 5% de la phytomasse optimale obtenue au pic de la végétation et cela, quelle que soit la zone bioclimatique. De même Hiernaux et al, (2011), après un suivi de la paille en saison sèche dans le Gourma, rapportent un taux de dégradation mensuel proche de 50 % de la strate herbacée. Cette forte dégradation s'explique selon eux en partie par la dispersion des diaspores et une très forte charge pastorale.

V. CONCLUSION

Au terme de ce travail, on peut retenir que :

À cet effet, sa superficie s'est réduite de plus 80 % en 7 mois en 2014 ;

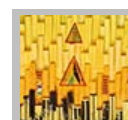
- la production de biomasse herbacée est assez variable d'un sous-bassin à un autre. Elle varie de 90 kg MS à 580 kg/ha MS. Cette production est dans son ensemble plus importante dans les savanes arbustives denses (inter-dunes) que dans les savanes arbustives éparpillées sur les dunes ;
- la disponibilité fourragère ne dure que 4 mois sur 9 mois de saison sèche, il n'y a pratiquement pas de pâturage pendant 5 mois dans le bassin.

En perspectives, il serait intéressant de continuer cette étude sur le long terme tout en augmentant le nombre de sites et si possible pendant des années contrastées du point de vue de la pluviométrie. La mare étant totalement exposée aux différentes

agressions, des techniques de sa protection méritent d'être entreprises à travers des actions de Gestion durable des terres et des eaux (GDTE) et aussi l'érection des fermes agricoles intégrées (FACI).

REFERENCES

1. Abdoulaye F., 2008. Perception paysanne sur les systèmes d'élevage et la gestion des ligneux fourragers dans le bassin du fleuve Sénégal au Mali. Mémoire d'Ingénieur de fin de cycle (Eaux et forêts). IPR/IFRA de Katibougou ; 53p.
2. Akpo L. E. 2012. Influence du couvert ligneux sur la structure et le fonctionnement de la strate herbacée en milieu sahélien. Les déterminants écologiques. Thèse 3e cycle, département biologie végétale. Université. Cheikh Anta Diop (UCAD), Dakar, Sénégal, 173p.
3. Akpo L. E., Masse D. et Grouzis M., 1998. Valeur pastorale de la végétation herbacée de jachères soudaniennes en Haute-Casamance, sud Sénégal. Séminaire international « La jachère en Afrique tropicale : rôles, aménagement, alternatif ». Dakar, 13 au 16 avril. CORAF/IRD/ISRA. 13p.
4. Amevor K. A., 2011. Effet du gradient climatique sur la production et la biodiversité des herbacées au Mali. Mémoire de fin de cycle de DEA à la FST, 52p.
5. Boudet G., 1978. Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères (3^e édition). IEMVT. Ministère de la coopération, Paris, 258p. DAGET P. et GODRON M., 1995. Pastoralisme, Troupeaux, espaces et sociétés. Universités francophones, AUPELF-UREF. 510p.
6. Boudet, 1983. Les pâturages et l'élevage au Sahel. Institut d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux. Fond Documentaire ORSTOM. N° 3526. Cote B. 5 pages.
7. Boudet, G. 1984. « Problèmes posés par l'estimation de la capacité de charge d'un pâturage naturel tropical ». In Acte de colloque Bamako/Mali, Bamako-Mali, 265-267 p.
8. Diarra F., 2011 Rapport de stage, Étude de l'occupation des terres et parcours dans le bassin versant d'Agoufou. Laboratoire d'Écologie Tropicale (FST) 2011, 47p.
9. Djibo B., 2011. Caractérisation des Ressources Agropastorales du Bassin versant de la Mare d'Agoufou dans le Gourma Malien, DEA, FAST, 2012, 75p.
10. Diawara M., 2010. Quantifier les dynamiques associées de la charge animale et des ressources fourragères en saison sèche, le cas des parcours

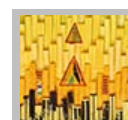


sahéliens du Gourma Malien. Mémoire Master PARC, SupAgro-Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 47p.

11. Gardelle J., Hiernaux P., Kergoat L., Grippa M., 2010. Less rain, more water in ponds: a remote sensing study of the dynamics of surface water from 1950 to present in pastoral Sahel (gourma region, Mali). *Hydrology and Earth System Sciences*, 324p.

12. Goïta A., 2013. Effet du changement climatique sur la dynamique des ressources naturelles dans le Gourma Malien : cas du bassin de la mare d'Agoufou. Mémoire de DEA « Gestion des Zones Humides et Développement Durable », ISFRA. Bamako, 91p.

13. Toutain et Lhoste, 1978. Essai d'estimation du coefficient d'utilisation de la biomasse herbacée par le bétail dans un périmètre sahélien. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 31 (1) : 95-101.



Dynamique de la mare d'Agoufou au sahel dans le Gourma malien

Amidou Goïta^{*1}, Abdoul Kader Kone² et Moussa Karembe¹

¹Université des sciences, des techniques et des technologies de Bamako

Faculté des sciences et techniques, Bamako, Mali

²Institut d'Economie Rurale, CRRRA de Sikasso, Sikasso

*Auteur correspondant : amidougoita@gmail.com

RESUME : Après les grandes sécheresses des années 1974 et de 1984 on a constaté dans la zone soudanienne la réduction voire la disparition des ressources hydrologiques surfaciques et souterraines. Mais au sahel dans le gourma c'est le contraire qui se passe, malgré la pluviométrie au-dessous de la moyenne 300 mm par an. Les ressources hydrologiques surfaciques et souterraines ont étonnamment accrues et encore on a constaté la naissance d'autres points d'eau sous l'effet du changement climatique. L'objectif du présent travail est d'étudier les effets du changement climatique sur la dynamique de la mare du bassin versant d'Agoufou de 1984 à 2018. La méthodologie adoptée a consisté à la détection des changements de l'occupation du sol à partir de images satellitaires multitudes (ETM et ETM+) couplées avec les sorties terrains afin d'identifier les causes de la pérennisation de la mare et de l'augmentation de son plan d'eau. L'analyse de la dynamique des images a montré qu'entre 1984 et 2018 il y a une augmentation du plan d'eau de 89% soit 278 ha, une progression des sols nus de 22% soit 3650 ha. La progression des sols nus s'explique par l'augmentation de l'aridité et de l'érosion dans les zones en hauteur du bassin. Elle semble être à la base de la pérennisation de l'eau de la mare.

Mots clés : Mare Agoufou, dynamique, images satellites, classification supervisée, Gourma, Mali.

ABSTRACT : After the major droughts of 1974 and 1984, the reduction or even disappearance of surface and underground water resources was observed in the Sudanese zone. But in the sahel in the gourma the opposite is true, despite the rainfall below the average of 300 mm per year. Surficial and underground hydrological resources have increased surprisingly and other water points have been created as a result of climate change. The objective of this work is to study the effects of climate change on the dynamics of the Agoufou watershed pond from 1984 to 2018. The methodology adopted consisted in detecting changes in land use using multi-date satellite images (ETM and ETM+) coupled with field trips in order to identify the causes of the pond's sustainability and the increase in its water level. The analysis of the dynamics of the images showed that between 1984 and 2018 there was an increase in the water level of 89% or 278 ha, a progression of bare soils of 22% or 3650 ha. The increase in bare soils is explained by the increase in aridity and erosion in the high areas of the basin. It seems to be the basis for the sustainability of the water in the pond.

Keywords : Pond Agoufou, Dynamics, satellite images, Supervised classification, Malian gourma

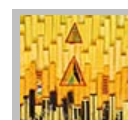
I. INTRODUCTION

Le déficit pluviométrique a conduit à une diminution des eaux surfaciques et souterraines dans les zones soudanaises et guinéennes de l'Afrique de l'ouest (Descroix et al. 2009). Ce phénomène a vu la diminution de leur étendue d'eau, voire la disparition de certains points d'eau : mare Banzena, mare de Tonzougou-kô ou mare de Dô et lac Aougoudoun, lac Niagaye, lac Wegnia, lac Magui, le lac Korientzè) et les cours d'eau (Niger et Sénégal) (Ballo, 2012). Ce phénomène de diminution a été considéré par les chercheurs sus cités comme normale. Après les grandes sécheresses des années 1970 et 1980 et malgré une pluviométrie sous la moyenne des 300 mm d'eau par an au sahel, on a constaté des changements dans les régimes hydrologiques des cours d'eau au Mali, au Burkina Faso, au Niger etc., montrant une augmentation du flux au nord de l'isohyète 700 mm (Mahé et al. 2003, 2005a, Ag Mahmoud, 1992).

Le Sahel est particulièrement vulnérable à la variabilité climatique et aux changements d'utilisation des sols. Après les grandes sécheresses des années 1974 et de 1984 on a constaté dans la zone soudanienne la réduction voire la disparition des ressources hydrologiques surfaciques et souterraines (Mahé et al. 2010).

Mais au sahel dans le gourma c'est le contraire qui se passe, malgré la pluviométrie au-dessous de la moyenne 300 mm par an, les ressources hydrologiques surfaciques et souterraines ont étonnamment accrues et encore on a constaté la naissance d'autres points d'eau sous l'effet du changement climatique (Gardelle et al. 2010; Leblanc et al., 2008).

L'étendue de ces points d'eau ne cesse d'accroître année en année, ceux-ci se forment dans les dépressions à fond imperméable et sont plus ou moins permanents en fonction de la quantité de précipitations qui tombent dans leur bassin versant



(Kammerud, 1993; Mahé et Paturel, 2009 ; Hiernaux, 2010).

Pour analyser ce phénomène et son importance les chercheurs l'ont décrit "paradoxe sahélien" moins de pluie et plus d'eau surfaciques et souterraines (Gardelle et al ; 2010).

Cet état de fait a été l'objet d'une recherche par plusieurs auteurs et projets tels que le HAPEX à travers l'IRD, HEP sahel « Hydrologie, écologie et pastoralisme dans le Sahel : Ressources en eau éphémères et pérennes dans un système dynamique couplé ».

Ces études de ces chercheurs (Hiernaux, Maillé, Grippa, Kergoat etc.), n'ont fourni que des résultats trop larges et peu propices pour tirer des conclusions sur une petite échelle de bassin versant d'où l'idée de présente recherche: de comprendre ce processus et la dynamique de la mare dans le bassin d'Agoufou dans un contexte de changement climatique qui et suscite à des objectifs suivants : i) caractériser la dynamique de la mare d'Agoufou avant/après les sécheresses de 1974-1984; ii) identifier les facteurs de pérennisation de la mare d'Agoufou dans un contexte de changement climatique; et iii) appréhender l'impact de ces changements sur la pérennisation de la mare d'Agoufou.

II. MATERIELS ET METHODE

2.1 Présentation de la zone d'étude

Le bassin de la mare d'Agoufou s'étend entre 1°43'39" et 1°26'51" de la longitude ouest et 15°20'17" et 15°30'00" de la latitude nord. Il couvre une superficie estimée à 28 630 ha avec un périmètre de 17 200 mètres. Il est situé à la limite des communes rurales de Hombori au Nord et à l'ouest de celle Gossi, à la limite sud-est de celle d'Inadjatafane. Au plan administratif, le site est à cheval sur deux cercles, Gourma-Rharous dans la région de Tombouctou et Douentza dans celle de Mopti. Le bassin de la mare d'Agoufou est traversé par la route nationale RN15 reliant Sévaré à Gao sur près de 400 km bitumée. (cf. carte de localisation).

2.1.1 Climat

La pluviométrie moyenne des 24 dernières années est de 353,5 mm au Sahel. Les années les moins pluvieuses sont 1987, 1997 et 2004 avec moins de 186,8 mm tandis que les années les plus arrosées sont 1994, 1999 et 2010 avec plus de 585 mm (DNM, 2013). (cf. fig1).

2.1.2 Collecte de données

Pour cette étude, la méthodologie adoptée a consisté à la détection des changements de l'occupation du sol à partir de images satellitaires multitudes de Landsat (ETM et OLI/TIR) couplées avec les sorties terrains afin d'identifier les types de formations végétales dans le bassin. Les différentes images ont subi plusieurs traitements en fin d'éliminer les effets atmosphériques lors de l'acquisition des images. Il s'agit entre autres :

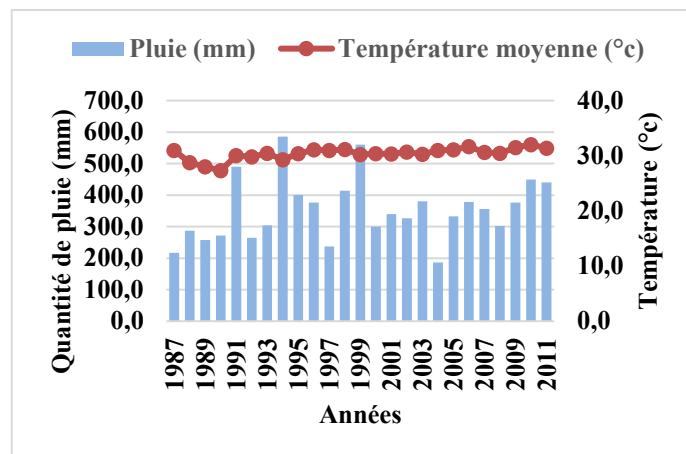
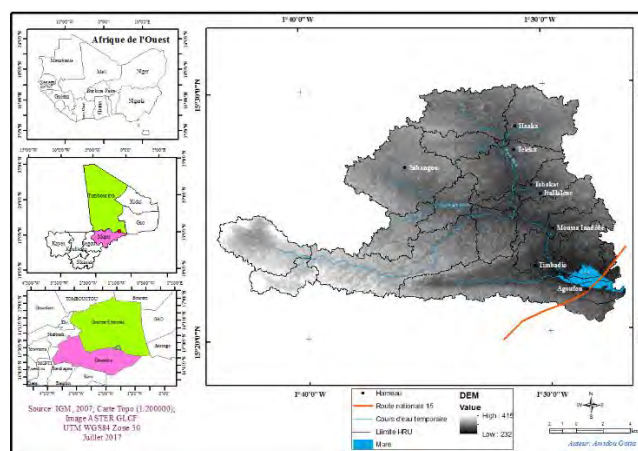


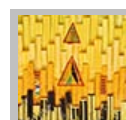
Figure 1 : Diagramme ombrothermique



Carte 1 : Localisation de la zone d'étude.

- ✓ La correction géométrique a permis de régler le calage entre les deux images de Landsat (TM et OLI) afin de faciliter leur superposition. Le système révérenciel WGS84 Zone 29 Nord a été utilisé pour cette correction.
- ✓ Quant à la correction radiométrique consiste à la conversion des valeurs numériques des images en valeur de réflectance.
- ✓ La correction atmosphérique consiste à corriger les effets de l'atmosphère sur les différentes images satellitaires afin d'obtenir des valeurs précises mesurées par les différents capteurs.
- ✓ Dans cette étude, l'outil DOS (Dark Object Subtraction) du logiciel envi 5.1 a été utilisé pour corriger les différentes images.

Les bandes 5, 4 et 3 ont été utilisées pour la composition colorée car elles caractérisent mieux la couverture végétale. Grâce à la connaissance du terrain et la collecte des données des parcelles d'entraînement qui ont permis d'interpréter les différentes images. La méthode de la classification supervisée avec l'algorithme du maximum de vraisemblance a été utilisée en fin de discriminer les unités d'occupations du sol. Elle a permis de mettre en évidence les différentes formes de conversion qu'ont subies les unités entre 1986 et 2018. Les données spatiales sont essentiellement composées de:



- ✓ Quatre images satellite : deux images Landsat TM du 25/09/1984, du 10/09/1990, du 30/09/2002, du 20/09/2011 et OLI/TIR du 2017 téléchargées sur le site GLCF (Global Land Cover Facility <http://glcfapp.glc.f.umd.edu:8080/esdi/>) et le site USGS (United States Geological Survey <http://earthexplorer.usgs.gov/>).

Ces données ont permis d'étudier et d'analyser le plan d'eau de la mare du bassin versant d'Agoufou de 1984 à 2018.

Tableau 1 : Principales caractéristiques des images Landsat

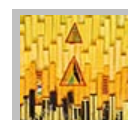
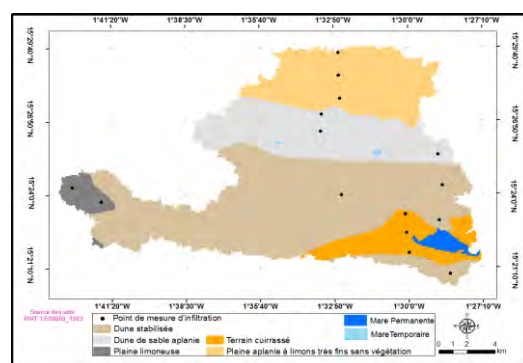
Caractéristiques	Landsat -1 à 3	Landsat -4 et 5	Landsat -6	Landsat -7	LDCM
Début et fin de mission	Landsat-1: 1972-1978 Landsat-2 : 1975-1981 Landsat-3 : 1982-1993	Landsat-4: 1982-1993 Landsat-5 : 1984-2013	1993 (échec)	1999-	2013-11-02
Bandes spectrales	0,5-0,6 μm 0,6-0,7 μm 0,7-0,8 μm 0,8-1,1 μm	0,45-0,52 μm 0,52-0,6 μm 0,63-0,69 μm 0,76-0,9 μm 1,55-1,75 μm 2,08-2,35 μm	-	0,45-0,52 μm 0,53-0,61 μm 0,63-0,69 μm 0,78-0,9 μm 1,55-1,75 μm 2,09-2,35 μm	0,433-0,453 μm 0,45-0,515 μm 0,525-0,6 μm 0,63-0,68 μm 0,845-0,885 μm 1,56-1,66 μm 1,36-1,39 μm 2,1-2,3 μm
Infrarouge thermique	-	10,4-12,5 μm	-	10,4-12,5 μm	10,3-11,3 μm 11,5-12,5 μm
Panchromatique	-	-	-	0,52-0,9 μm	0,5-0,68 μm
Résolution	Générale : 79 m	Générale : 30 m Infrarouge thermique : 120 m	-	Générale : 30 m Panchromatique : 15 m Infrarouge thermique : 100 m	Générale : 30 m Panchromatique : 15 m Infrarouge thermique : 60 m

Source : Centre Canadien de Télédétection, <http://cct.mcan.gc.ca/>

Le tableau 1 décrit les principales caractéristiques du satellite Landsat de sa création à nos jours (de landsat1 à 8).

2.1.3 Mesures d'infiltrométrie

Les tests d'infiltrométrie sont révélateurs de l'indice physique de l'état du sol (Fadiala et al 1996). De nombreuses mesures ont été effectuées afin de maîtriser la forte variabilité des états de surface du sol. Des coordonnées ont été projetées sur la carte des sols (PIRT), ainsi pour chaque type de sol, trois points ont été pris soit 15 points au total. La méthode a consisté à mesurer le taux d'infiltration pendant un certain temps (c'est-à-dire le volume d'eau infiltré par minute). Une méthode simple à appliquer a été choisie. Les infiltromètres retenus sont constitués d'un cylindre en tube PVC de 20 cm de diamètre pour une hauteur de 15 à 20 cm. Les sections sont biseautées en fin de faciliter la pénétration dans le sol. Ces cylindres sont enfoncés manuellement sur une profondeur de 2 à 3 cm. Après la mise en place une quantité constante d'un litre d'eau a été versée dans le cylindre. Le chronomètre est alors démarré, la mesure de la hauteur d'eau est faite à l'aide d'une règle de 30 cm, toutes conditions étant égales par ailleurs (température, etc.), le temps nécessaire à son infiltration. Après plusieurs essais, un litre d'eau a été retenue comme quantité à verser dans le type. Sur chaque type de sols 9 essais ont été réalisés, soit 3 essais par point. Ainsi la moyenne des trois essais représente le temps d'infiltration du point. (cf. photo 1).



(1^{ère} étape)(2^{ème} étape)(3^{ème} étape)

Photo 1 : Les différentes phases des mesures d'infiltrométrie

1.1.4 Suivi de l'étendue d'eau de la mare.

Pour le suivi de l'étendue d'eau de la mare, nous avons eu recours à un certain nombre de matériels techniques définis comme suit :

- ✓ Un GPS modèle Garmin pour le géoréférencement ;
- ✓ Les fiches de relevés pour noter les données collectées ;
- ✓ Une pirogue ;
- ✓ Un appareil photo pour illustrer les activités sur le terrain ;
- ✓ Une règle graduée pour la profondeur de la mare

- ✓ Quatre tubes PVC pour les mesures de l'infiltration
- ✓ Une planche : elle a servi pour l'enfoncement du tube PVC dans le sol.
- ✓ Trois règles de 30 cm : Utilisées pour mesurer la hauteur d'eau
- ✓ Trois bidons de 40 litre : Les bidons ont servi de réservoir d'eau pour les mesures d'infiltration
- ✓ Deux Gourdins en bois : Utilisés pour la fixation des tubes PVC
- ✓ Un chronomètre : pour déterminer le temps de l'infiltration de l'eau
- ✓ Une carte topographique : La carte topographique étant la base pour les autres cartes thématiques, celle couvrant notre zone d'étude (Hombori ND-30-XXIII, 1/200 000 de 1954 de l'IGM) a été utilisée. Elle décrit la géomorphologie du relief et favorise tous éventuels travaux.
- ✓ Carte du sol PIRT du mali :
- ✓ La carte des unités sol PIRT du mali 1/500 000 (1986) a été utilisée pour extraire les unités de la zone d'étude et caractériser les différents types de sol. Elle a également servi de carte de base pour les mesures d'infiltration.
- ✓ Un MNT global de 30 m de résolution produit à partir des données ASTER (Abrams et al. 2010) a été utilisé pour générer le bassin versant et ses HRU.

1.1.5 Changement de typologie des sols selon le faciès horizontal (changement des états de surface).

La carte PIRT 1/500 000 a été utilisée comme carte de référence sur laquelle les coordonnées géographiques ont été placées. Les relevés terrain ont permis de caractériser chaque type de sol et cerner au final la physionomie actuelle de ces différents sols.

1.1.6 Facteurs de pérennisation de la mare d'Agoufou

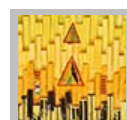
Pour pouvoir appréhender les facteurs de pérennisation de la mare, une approche a été menée. L'approche étude des ressources naturelles du bassin couplées aux impacts des changements climatiques et aux effets anthropiques.

2.1.7 L'évolution de la surface de la mare d'Agoufou

Pour mieux cerner l'évolution de la mare d'Agoufou, les images d'archives du Satellite Landsat ont été téléchargées, traitées et interprétées. La classification supervisée a été utilisée. Les relevés terrain ont permis de valider les résultats et de prendre seulement la couche eau par image pour la dynamique.

II. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Résultats



Les principaux résultats ont porté sur les mesures d'infiltrométrie, le suivi de l'étendue d'eau de la mare, le changement des états de surface, les facteurs de pérennisation de la mare d'Agoufou et l'évolution de la surface de la mare d'Agoufou.

3.1.1 Mesures de l'infiltration

L'infiltrométrie a permis de comprendre le processus d'alimentation et de pérennisation de la mare d'Agoufou dans le temps et dans l'espace.

Tableau 2 : Résultat obtenu de l'infiltration des différentes unités sol en cm/h

Unités sol	Taux d'infiltration en (cm/h)
Terrain cuirassé	60,33
Dunes stabilisées	74,12
Dunes aplanies	61,22
Sol inconnu	12,67
Plaine limoneuse	116,50

Les analyses révèlent que le temps d'infiltration change en fonction des unités sols. Ainsi les sols inconnus qui sont aujourd'hui des regs ont le taux d'infiltrométrie le plus bas soit 12, 67 cm/h. Cela s'explique par le caractère très moins imperméable des éléments de ces unités sols. Donc les quantités de pluie, qu'elles soient petites ou grande sont directement ruisselées vers la mare. Ce ruissellement également est rendu facile dû à la topographie du terrain, une pente inclinée vers la mare et la rareté des arbres et du tapis herbacé. Il est suivi des terrains cuirassés avec 60,33cm/h. Cela s'explique par la physionomie de cette unité qui est au jour d'aujourd'hui recouvert de sables et du limon en surface. Les dunes aplanies viennent en troisième position avec 61,22 cm/h, quant aux dunes stabilisées elles occupent 74,12 et en fin les plaines limoneuses avec 116,50. Les taux qui dépassent les 60 cm/h sont considérés plus rapides, cela est dû à la texture du sol c'est-à-dire plus de présence de limon et de sables fins en surface.

Le tableau1 informe sur la description de chaque point mesuré, il fait ressortir l'annotation du tube, la hauteur, le diamètre, la quantité d'eau déversée, le temps enregistré, la distance du point à la mare, les coordonnées géographiques, le type de sol, la végétation et enfin les espèces dominantes.

Tableau 3 :Caractérisation des points d'infiltrométrie

Tube	Hauteur Tube (m)	Diamètre	Quantité	Hauteur	Temps	Distance à	Longitude	Latitude	Type de sol	Végétation	Espèces
A	30	10	1	12	9mm 11s	2,30km	1,46837	15,3463	Sol	Savane	<i>Leptadenia</i>
B	30	10	1	12	17mm33s	2,30km	1,46837	15,3463			
C	30	10	1	12	11mm28s	2,30km	1,46837	15,3463			

3.1.2 Changement de typologie des sols selon le faciès horizontal (changement des états de surface).

Les relevés terrain montrent de 1986 à 2018 soit 32 ans que ces unités sols ont connues d'énormes changements qui sont les conséquences des facteurs climatiques (vent, érosion éolien et hydrique etc.). cf carte 2.

Aujourd'hui les réalités terrains donnent quatre types de sols qui sont entre autres :

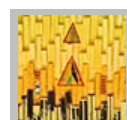
✓ Sols cuirassés dénudés ou Regs:

Les unités gravillonnaires et les dunes aplanies (da2) ont perdu leur morphologie d'antan.

Ce sont aujourd'hui des sols cuirassés dénudés caractérisés par une savane arbustive éparse dominée par quelque pied d'épineux. Ils occupent le nord du bassin avec une superficie de 9735,23 ha soit 35,86% de la superficie totale. Ils sont bien drainés et en surface le sol a une couleur blanc et rougeâtre qui favorise les écoulements latéraux selon la pente vers la mare. Les quantités de pluies tombées sont généralement drainées vers la mare. La présence de pâturage herbacé est éparse et temporaire.

✓ Dunes (dépôt éolien)

Les dunes jadis stabilisées ont connu une augmentation de volume de dépôt dus plutôt au vent. Elles sont localisées au centre et à l'extrême sud du bassin avec une superficie de 13 334,78 ha soit 49,11% de la superficie totale du bassin. Caractérisé par une savane arbustive dégradée dominée par *leptadenia pyrotechnica* et *acacia raddiana*. Elle sert au pâturage et la culture du mil, surtout aux abords des chenaux d'alimentations de la mare.

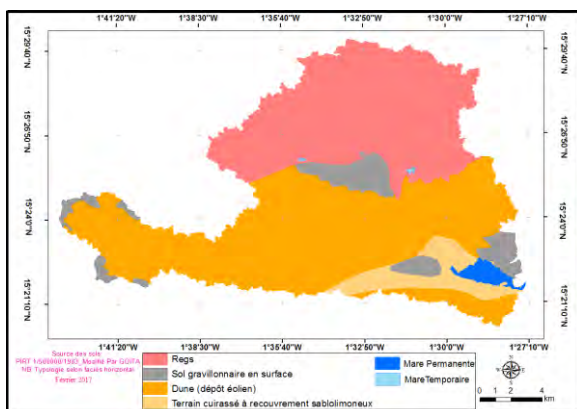
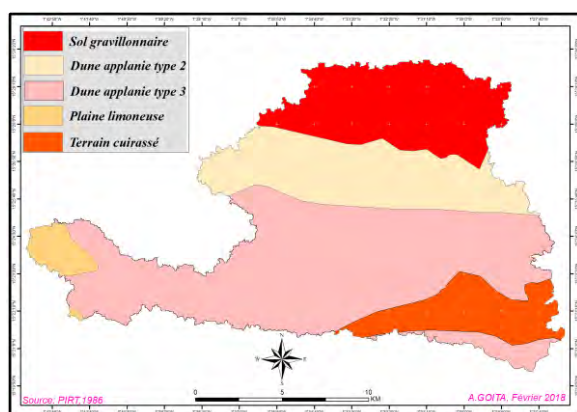


✓ Sols Gravillonnaires

Localisé de part et d'autre du bassin occupant de petites surfaces, ils ont une superficie de 2 042,85 soit 7,52%. Des plaines limoneuses tantôt allant des dunes stabilisées jadis sont aujourd'hui transformés en gravillon totalement nu en surface.

✓ Terrain cuirassé à recouvrement sablo-limoneux

Localisé sud du bassin avec une superficie de 2034,87 ha soit 7,49 % étaient jadis des terrains cuirassés à affleurement rocheux proprement dit. Par les facteurs climatiques ils sont couverts de sables et de limons en surface. La végétation est dominée par une savane arbustive dense aux abords de la mare dans les chenaux d'alimentations de la dite mare. Les espèces dominantes sont : *Acacia*, *raddiana*, *Balanites aegyptiaca*, *Acacia nilotica*, *Ziziphus mauritiana*, *Acacia ehrenbergiana* et *leptadenia hastata*. Il est pâturé et connaît la culture de beaucoup de spéculation (mil, sésame, pastèque etc.).

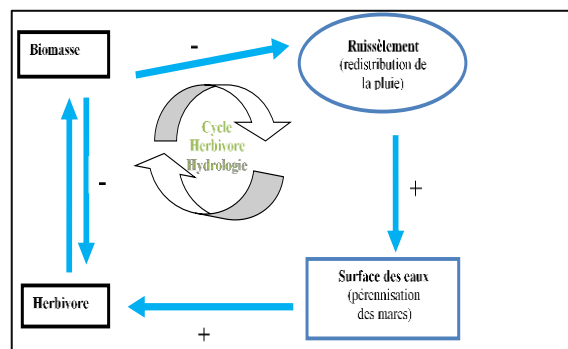


Carte 1 : Carte des sols PIRT 1986 1/500 000 modifiée par GOITA selon le faciès horizontal.

3.1.3 Facteurs de pérennisation de la mare d'Agoufou

Dans les années 1974 et 1984, sous l'effet de la sécheresse la végétation ligneuse et herbacée a connu une grande réduction voire une disparition dans le sahel. Avec ses corollaires comme l'installation et

l'accentuation du ruissellement éolien et hydrique. Cet état de fait a amené un changement d'état de surface des sols du bassin. Et cela favorisa à chaque pluie les écoulements latéraux selon la pente vers les basses zones du bassin (exécutoire). La présence massive du cheptel dans le bassin dans toute période de l'année est un facteur de dérations des ressources herbacées qui favorisent les écoulements. En 1984, Subitement les mares ont changé d'état, c'est-à-dire de temporaire à pérenne en dépassant la situation normale.



(Hanan & Lehmann, 2011, adapté)

Figure 2 : Schéma explicatif du cycle herbivore hydrologie

Ce schéma fait ressortir l'effet de la biomasse et des herbivores sur la connectivité de la mare et la durabilité de son eau dans le sahel suite aux effets du changement climatique. Ce cycle prend départ par les herbivores qui viennent chercher la biomasse, ils jouent un effet négatif sur la biomasse et également positif, parce que les bouses laissées favorisent le développement de la biomasse. Les herbivores mangent et piétinent les plantes qui réduisent de tailles. Cette réduction de la taille des plantes va favoriser le ruissellement et une redistribution de la pluie en période hivernale, donc un effet négatif. Le ruissellement va influencer sur les eaux de surfaces (mares) notamment leur étendue et leur pérennisation, donc un effet positif. Et la disponibilité de l'eau en permanence va favoriser l'arrivé en nombre des herbivores donc un effet positif et le cycle est fermé.

3.1.4 L'évolution de la surface de la mare d'Agoufou

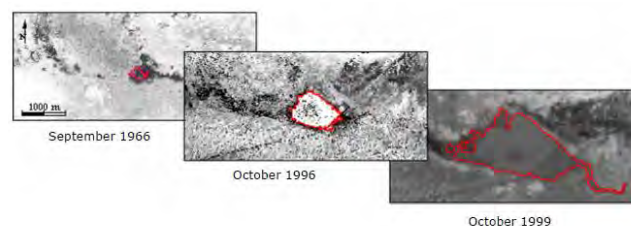
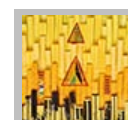
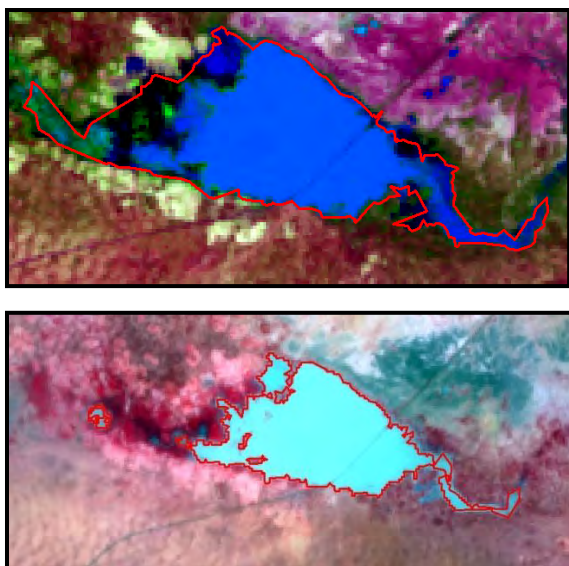


image spot (Gardelle et al., 2010)





Septembre 2011 et Octobre 2017

Source : Image Landsat, Amidou GOITA

Figure 3 : Augmentation de la surface de la mare d'Agoufou de 1966 à 2017

La mare d'Agoufou dans les années 1966 était temporaire ne dépassant les 50 ha en 1999 elle a dépassée les 300 ha, et de 1999 à 2017 elle a atteint le seuil de 370 ha

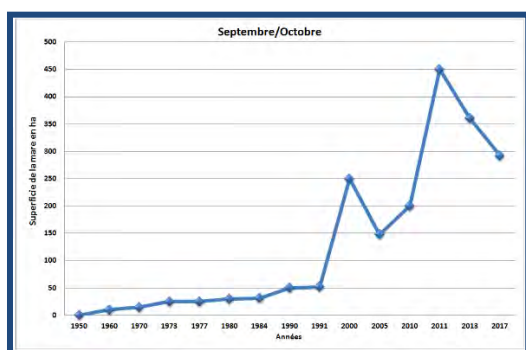


Figure 4: Evolution de la superficie en eau de la mare d'Agoufou de 1950 à 2017 en Septembre/octobre des images Landsat (1970-2017) et photo corona (1950 et 1960) Source : Amidou Goita

3.1.5 Suivi de l'étendue d'eau de la mare

La superficie de la mare est délimitée à l'aide d'un GPS garmin en faisant le pourtour complet. Il a été observé une diminution de son étendue à chaque sortie de terrain due à l'évapotranspiration, l'arrêt du processus d'alimentation, l'abreuvement des animaux et l'utilisation de l'eau par les communautés. La superficie de la mare est passée de 280, 115 ha en octobre 2016 à 50, 586 ha en avril 2017 soit une régression de 229,529 ha en sept (7) mois. Dans le cadre du présent travail, à chaque sortie de terrain, il a été observé une diminution de l'étendue de la mare ou d'eau de surface disponible. Cette réduction est due à l'arrêt du processus d'alimentation en fin de saison pluvieuse, à l'évaporation, à l'abreuvement des animaux et à l'utilisation de l'eau par les

communautés. En effet, la vitesse de réduction de la superficie de la mare est très importante, elle a régressé de plus de 80 % en 7 mois.

3.2 Discussions

La discussion a porté essentiellement sur l'étude écohydrologique, le suivi de l'étendue d'eau de la mare, le changement des états de surface, les facteurs de pérennisation de la mare d'Agoufou et l'évolution de la surface de la mare d'Agoufou.

3.2.1. Changement de typologie des sols selon le faciès horizontal (changement des états de surface)

Des résultats similaires ont été rapportés par Laurent Kergoat et al. 2010, dans un livrable sur le suivi des mares du Gourma Malien le changement d'état de surface et l'augmentation du ruissellement.

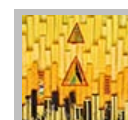
Le premier aspect intéressant est celui des "surfaces sableuses" de 1954 qui sont devenues des "affleurements" en 2017. Cet état de fait explique à la fois la diminution des surfaces sableuses et une large part de l'augmentation des surfaces d'affleurement (regs). Il traduit une érosion importante sur les pentes, même douces. On note que d'autres classes contribuent légèrement à l'augmentation des affleurements.

Le deuxième aspect est que les bas-fonds aux sols argilo-limoneux ont quasi disparus, laissant la place à des affleurements, du limon décapé, ou du sable (Descroix et al., 2009, Descroix et al., 2012, Gardelle et al., 2010, Diarra et al 2011, Goita A. 2014).

L'évolution des types de surface (2007 versus 1954) et les transitions entre ces types indiquent une forte érosion sur l'ensemble du bassin et une modification importante des écosystèmes. En effet, les surfaces sableuses sont propices à la croissance des herbacées annuelles, accompagnées de quelques arbres épars, les bas-fond argilo-limoneux abritent, ou abritaient, la plupart des arbres du bassins, ainsi qu'un couvert herbacé, alors que les surfaces de limon décapé et les affleurements ne permettent aucune installation de la végétation. La concentration du ruissellement dans un réseau de ravines marquées est également un facteur défavorable au maintien d'un couvert végétal important.

3.2.2 Ecohydrologie

La pluviométrie est le premier moteur de la production végétale au sahel (Penning Vries et Djitéye, 1982). L'anomalie de la pluviométrie a montré que les eaux de surface ont très fortement augmenté dans le Gourma au cours des 50 dernières années en générale et dans le bassin en particulier (Kergoat et al 2010). Cette dynamique, amorcée dès 1984, prend toute son ampleur dans les années 1990. Le fait frappant est que cette évolution n'est pas corrélée au cumul annuel de précipitation, illustré pour la station de Hombori sur la figure 5.



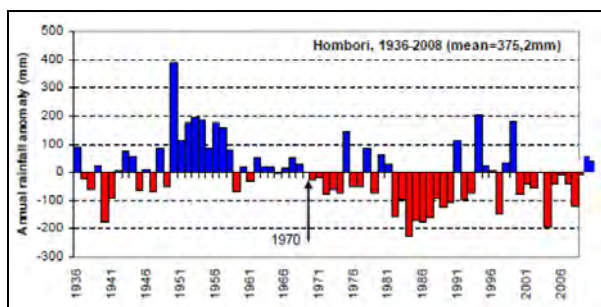


Figure 5: Tirée de Laurent Kergoat et al. 2010, Anomalie de précipitation annuelle à Hombori 1936-2008, complétée jusqu'en 2011. Source : DNM MALI. NB : La Station d'Hombori n'est plus opérationnelle depuis 2012.

Des résultats similaires ont été rapportés par (Albergel 1987, voir aussi Favreau et al. 2009, Laurent Kergoat et al. 2010, Amogu et al. 2010, Sighommou et al. 2013, Mahé et al. 2013, Goita A. 2014 pour une synthèse du 'paradoxe Sahélien'), Paradoxalement, les surfaces en eau ont augmenté à la suite des grandes sécheresses des années 70-80, puis ont continué à augmenter pendant deux décennies globalement déficitaires (1990-2008). Gardelle et al. 2010, Albergel 1987, Favreau et al. 2009, Amogu et al. 2010, Sighommou et al. 2013, Mahé et al. 2013 ont passé en revue les facteurs susceptibles d'entraîner un tel phénomène. Nous retenons le changement d'occupation du sol, l'augmentation du ruissellement de surface essentiellement comme cause première. Une déclinaison du 'paradoxe' Sahélien, en milieu non-cultivé. L'augmentation du ruissellement de surface a été observée depuis les sécheresses Sahéliennes extrêmes des années 70 et début 80 sous différentes formes, et à différents endroits le plus souvent en milieu sud sahélien, ou en Sahel cultivé dans le Gourma, mais aussi dans le Hodh mauritanien et de la région de Zinder au Niger. La sécheresse elle-même est parfois citée comme cause de ce phénomène, mais le plus souvent, c'est le changement d'usage des sols qui est le facteur causal avancé, et plus précisément la mise en culture et le changement des états de surface.

3.2.3 L'évolution de la surface de la mare d'Agoufou

L'augmentation des eaux de surface (les mares) dans le sahel et le passage d'un état éphémère à pérenne, contrairement à une réduction drastique de la pluviométrie d'où le 'paradoxe sahélien' s'explique par le cycle. On rejoint les autres auteurs (Gardelle et al., 2010, Hanan & Lehmann, 2011, Mikkels P. Warm, 2013) qui ont aussi convergé dans le même sens. Il est important de rappeler qu'au Sahel, l'évolution temporelle de la pluviométrie et des ressources en eau n'est pas toujours corrélée (e.g. Mahé et al., 2005 ; Gerbaux et al., 2009, Kaptué, 2010) On pense que ce processus connu sous le nom de 'paradoxe sahélien' s'explique aujourd'hui par les changements liés à l'utilisation et à l'occupation des

sols ce qui nous a poussé d'explorer les liens entre la dynamique des mares de la région et le climat, la végétation, l'utilisation des terres, la topographie et l'hydrologie à l'échelle du bassin versant. Pour expliquer les changements hydrologiques observés dans le Sahel on trouve que la végétation et le pâturage interagissent dans les bassins versants semi-arides pour contrôler la dynamique des eaux de surface (eaux de ruissellement dans les mares). L'augmentation du volume de la mare prolonge la durée de pâturage pour le bétail (et la faune qui dépend de l'eau). Les mares qui restent après la saison sèche peuvent déclencher la réorganisation socio-économique plus significative (sédentarisation).

3.2.4 Facteurs de pérennisation de la mare d'Agoufou

Des résultats similaires ont été rapportés par Kergoat et al., (2010), Kaptué, (2010), Hanan et Lehmann (2011). Au cours d'une sécheresse extrême, la végétation herbacée ne s'est pas développée. Quant au ligneux, les quelques espèces qui ont résisté ont été dessouchées par le ruissellement éolien et hydrique témoignent les arbres morts dans la zone nord du bassin (Annaka). La disponibilité de l'eau en permanence a favorisé l'arrivée en nombre des herbivores qui viennent chercher la biomasse dans le bassin, ils jouent un effet négatif sur la biomasse et également positif, parce que les bouses laissées favorisent le développement de la biomasse. Les herbivores mangent et piétinent les plantes qui réduisent de tailles. Cette réduction de la taille des plantes va favoriser le ruissellement et une redistribution de la pluie en période hivernale, donc un effet négatif. Le ruissellement va influencer sur les eaux de surfaces (mares) notamment leur étendue et leur pérennisation, donc un effet positif. Le ruissellement, pendant la saison des pluies, est accéléré. Normalement, ce ruissellement est plus important en début de saison des pluies, avant la croissance des herbacées (Dubreuil 1972).

IV. CONCLUSION

Au terme de ce travail on peut retenir que l'analyse des images satellite montre que la mare est devenue pérenne en 1991 et sa surface ne cesse de s'agrandir d'année en année.

L'apparition de nouvelles mares et l'augmentation de leur superficie dans le Sahel avec un passage de l'état temporelle à un état pérenne a franchi un seuil critique pour certaines mares.

Le phénomène d'augmentation des surfaces des mares Sahélienne est répandu de la Mauritanie au Niger, dans des régions qui possèdent des caractéristiques communes. Les mares sont essentiellement alimentées par le ruissellement sur des sols peu profonds, qui ne couvrent pas forcément une surface relative très importante, mais sur lesquels le ruissellement est très fort et l'utilisation agricole des terres est limitée. Le paradoxe Sahélien se décline donc en Sahel peu cultivé. La mare d'Agoufou est



condamnée à rester pérenne dans le temps, sauf en cas de bouleversement éoclimatique chose qu'on ne souhaite jamais. Le bassin versant de la mare d'Agoufou représente un ensemble écologique important pour la biodiversité au niveau du sahel en général et du gourma malien en particulier selon les fonctions écologiques d'un bassin versant: régulation des régimes hydriques, des cycles biogéochimiques. En perspectives, il serait intéressant de continuer cette étude sur le long terme tout en diversifiant le champ de recherche du point de vue de la pluviométrie, ruissellement, sol. La mare étant totalement exposée aux différentes agressions, des techniques de sa protection méritent d'être entreprises, et cela à travers des plantations des arbres tout autour d'elle. La valorisation de cette eau doit être initiée à travers à travers des activités socioéconomiques de développement.

BIBLIOGRAPHIE

1. Albergel, J. 1987, Sécheresse, désertification et ressources en eau de surface — Application aux petits bassins du Burkina Faso,
2. Amogu, O. , Descroix, L., Yéro, K.S., Le Breton, E., Mamadou, I., Ali, A., et al. 2010. Increasing river flows in the Sahel? *Water 2* : 170-99.
3. Ambroise, B. 1998, La dynamique du cycle de l'eau dans un bassin versant : Processus, Facteurs, Modèles. 206p. Bucarest
4. Calas, A., 2012: Suivi des mares du Hodh (Mauritanie) par télédétection spatiale; mémoire de master.
5. F. Baup, E., Ceschia, V., Demarez, P., De Rosnay., L. Kergoat, F. Lavenu, V. Le Dantec, P. Hiernaux, S. Mangiarotti, B. Mougenot, E. Mougin, O. Samain, F. Timouk. Approche Multi-Echelle du Fonctionnement et de la Dynamique des Surfaces Sahéliennes, article post doct 24 p (AMMA)
6. Frappart, F., Hiernaux, P., Guichard, F., Mougin, E., Kergoat, L., Arjounin, M., Lavenu, F., Koité, M., Paturel, J.- E., and Lebel, T., 2009. Rainfall regime across the Sahel band in the Gourma region, Mali, *J. Hydrol.*, 375(1–2), 128–142
7. Goïta A., 2013. Effet du changement climatique sur la dynamique des ressources naturelles dans le Gourma Malien : cas du bassin de la mare d'Agoufou. Mémoire de DEA « Gestion des Zones Humides et Développement Durable », ISFRA. Bamako, 91p.
8. Ibrahim, B. M., Descroix, L., Boubkraoui, S., Mamadou. I., Alzouma. I., Le Breton, E., Amogueleth, O., 2005 Changements d'usage des sols et modifications du cycle de l'eau au Sahel, *AMMA*, 24 p
9. J. Gardelle, P. Hiernaux, L. Kergoat, and M. Grippa, 2010 Less rain, more water in ponds: a remote sensing study of the dynamics of surface waters from 1950 to present in pastoral Sahel (Gourma region, Mali), , 16p , Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphere (CESBIO), Toulouse (France).
10. Valentin, C, Janeau, J.L. Cartographie des états de surface de trois bassins versants du Mali : Tin Adjar, Koumbaka et Dounging, ORSTOM, Cote d'Ivoire 1988, 16 p



Évaluation de l'effet de l'apport de fumier de bovins et de petits ruminants et du phosphate naturel de Tilemsi sur la productivité des sols et des cultures dans le Sahel : cas de la région de Mopti

Maiga M. Sidda², Traoré Boureima^{1*}, Maguiraga Rokia³ et Keita Moussa¹

¹Institut d'Economie Rurale, Bamako, Mali

²Faculté des Sciences et Techniques

³Ministère de l'Élevage et de la Pêche

*E-mail : boureimatraore@gmail.com

RÉSUMÉ : Dans les pays du Sahel, en Afrique de l'Ouest, en particulier dans la région de Mopti, le mil est une culture vivrière importante pour la sécurité alimentaire des populations. Sa production représente souvent plus de 30 % de la production céréalière totale. C'est un aliment énergétique et nutritif. Cependant, dans la région de Mopti, les rendements de cette culture sont très bas, et se situent entre 200 et 500 kg par hectare. L'utilisation des engrais minéraux et de la fumure organique constitue un moyen efficace pour contribuer à restaurer la fertilité des sols et à accroître les rendements des plantes cultivées (Bationo et al. 1998 ; Piéri, 1989).

La présente étude a pour objectif de contribuer à la lutte contre la baisse de la fertilité des sols et les bas rendements du mil dans la région de Mopti par l'application du fumier de bovins, et de petits ruminants à différentes doses et de 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT. Un bloc de Fisher a été utilisé dans les trois zones agro écologique de 2005 à 2007. Les résultats ont montré qu'avec l'application de 2t.ha⁻¹an⁻¹ de fumier de bovins et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT on obtient une augmentation de production en grain de mil par rapport au témoin de 57,59%, et de 52,8% avec, l'application de 5t.ha⁻¹3ans⁻¹ de fumier de bovins et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT. L'apport de 2t.ha⁻¹an⁻¹ de fumier de petits ruminants et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT permet l'accroissement du rendement grain de 60,11% et de 63,8% avec le 5t.ha⁻¹3ans⁻¹ de fumier de petits ruminants et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT, par rapport au témoin. Enfin, l'application de 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT permet un accroissement du rendement grain de 0 à 16%. Les analyses de sol ont montré en deuxième année, une augmentation de la valeur du pH et de la concentration du sol en matière organique et leur baisse en troisième année. Une intégration agriculture élevage avec apport du Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) permet une gestion durable des terres de culture de mil et de conflits au sahel.

Mots clés : Petits ruminants, bovins, production, sol, fertilité, Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT). Conflits, éleveurs, agriculteurs.

I. INTRODUCTION

Dans les pays du Sahel, en Afrique de l'Ouest, en particulier dans la région de Mopti, le mil est une culture vivrière importante pour la sécurité alimentaire des populations. Sa production représente souvent plus de 30 % de la production céréalière totale. Le mil est consommé sous forme de bouillie et de galettes. La teneur en protéines des différents mils, et leur qualité, se comparent à celles du blé ou du maïs. C'est un aliment énergétique et nutritif. Cependant, dans la région de Mopti, les rendements de cette culture sont très bas, et se situent entre 200 et 500 kg par hectare. En effet, il s'agit généralement d'une culture extensive, pratiquée sans irrigation, ni engrais. L'utilisation des engrais minéraux et de la fumure organique constitue un moyen efficace pour contribuer à restaurer la fertilité des sols et à accroître les rendements des plantes cultivées (Bationo et al. 1998 ; Piéri, 1989). Les engrais minéraux sont utilisés pour apporter les éléments nutritifs essentiels tels que l'azote et le phosphore. L'évolution des systèmes de culture a amené des changements dans les quantités apportées (N'Diaye et al., 1994).

Selon Kieft et al., 1994, les engrais minéraux au Mali sont principalement utilisés en zone cotonnière (± 75 %) et en zone de riziculture irriguée (± 10 %) avec une dose moyenne et effective d'environ 80 kg de nutriments par hectare fertilisé et qui va au maximum jusqu'à 300 kg par hectare. Il est clair que l'introduction des engrais minéraux a augmenté la production, mais les mesures culturales à prendre, surtout pour garantir la même productivité dans l'avenir, seront de plus en plus nécessaires. Au Mali, les zones de culture de céréale qui n'utilisent pas ou peu d'engrais minéraux sont importantes.

Pieri (1989) note que si l'utilisation des engrais pour les cultures de cotonnier ne cesse de croître, il faut bien reconnaître que l'application de la fertilisation pour les céréales de culture sèche ne connaît pas le même essor. Il s'agit là, surtout des cultures du mil et du sorgho. En effet, cette situation s'explique par le rapport de prix extrêmement défavorable qui existe au Mali entre les engrais minéraux et les produits agricoles. Ceci pèse lourdement sur le coût des produits importés dont dépend la production. Or, à



part le Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT), le Mali dépend de l'extérieur pour son approvisionnement en engrais chimiques, et cela requiert des devises importantes dont le pays ne dispose pas en raison de sa situation économique (balance des paiements défavorable) (Gerner., 1993).

Des études menées par Bationo, 1998 ont démontré que le PNT pouvait être appliqué directement et que son efficacité dépend de sa composition chimique et minéralogique, des facteurs du sol, et des cultures pratiquées. Selon Kamara et *al.*, 1994, la recherche sur le PNT a abouti à des résultats agronomiques assez satisfaisants au Mali. Selon Veldkamp, 1991, l'expérience agronomique a montré un effet mesurable du Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) dès la première année de son application sur la parcelle. Le PNT contient selon Bationo (1998) 12,5% de P_2O_5 (Oxyde de phosphore) 1,84% de Citrate-soluble P, 14,4% de CaO (Oxyde de calcium), 3,1% de Fluor (F), 2,1% d'oxyde d'aluminium ou alumine (Al_2O_3), 6,1% de Fe_2O_3 , MgO (Oxyde de fer et de magnésium), 0,37% de Na_2O (Oxyde de sodium), 0,1% de K_2O (dioxyde de potassium), 0,007% de SiO_2 (Oxyde de silicium), et 9,4% de dioxyde de carbone (CO_2). La solubilité du PNT est faible comparativement aux engrais phosphatés, Diammonium phosphate (DAP) et le Phosphate Super Simple (SSP), mais c'est un phosphate naturel tendre, ce qui lui confère une meilleure solubilité, comparé aux autres phosphates naturels. La dose de fond de 300kg.ha⁻¹ peut assurer l'alimentation phosphatée des cultures pendant environ trois ans. Le pouvoir neutralisant du phosphate naturel de Tilemsi est faible, il a été évalué au laboratoire à 20% par rapport au carbonate de calcium ($CaCO_3$).

Cette action du PNT est très intéressante surtout pour les cultures sensibles à la toxicité aluminique. Un autre aspect important du PNT est que le taux élevé de calcium, particulièrement sur sol acide est surtout bénéfique pour les légumineuses comme l'arachide. Le PNT s'avère le plus efficace dans les zones humides. Son effet est mitigé en zones sèches (Pichot et *al.*, 1981). Le phosphate naturel de Tilemsi sera plus efficace si on l'utilise avec la fumure organique des parcs, il y aura un meilleur effet du PNT dans une rotation sur les légumineuses lorsqu'il est appliqué avant le labour. Une dose de fond serait de 300kg de PNT/ha tous les 3ans ou 500kg.ha⁻¹ tous les 5ans (Veldkamp et *al.*, 1991). De façon générale, le PNT doit être considéré comme une importante source locale de phosphore pour l'amélioration de la productivité des sols du Mali.

Morel et *al.*, 1990, trouvent que l'application d'engrais phosphatés augmente l'utilisation du phosphore par les plantes dans les sols pauvres en phosphates disponibles, mais diminue l'utilisation du phosphate dans les sols avec un taux élevé de phosphore disponible. Le phosphore contenu dans le

Diammonium phosphate (DAP) et le Phosphate Super Simple (SSP) est soluble. L'efficacité de tels types d'engrais est évaluée entre 10 et 15 %. Elle est fonction de la texture et l'acidité du sol, plus le sol est acide, plus élevés seront les besoins d'apports d'engrais phosphatés. En fonction de l'existence d'une érosion plus ou moins intense, un apport annuel pourrait être plus efficace qu'un apport massif de phosphore en une seule fois et pour plusieurs années.

Une évolution dans les recommandations de base accessibles aux petits producteurs va dans le sens d'une diminution des doses d'engrais chimique (et des coûts). L'application de phosphore au poquet permet dans une certaine mesure de limiter ce problème en minimisant les doses de phosphore à appliquer tout en ayant un gain de rendement acceptable par rapport à l'investissement. L'augmentation de la paille et des rendements en grains de mil peut atteindre 70%. Pour une pluviométrie normale et régulière les risques sont négligeables. Par ailleurs, le phosphore appliqué mais non utilisé par les cultures suite à une mauvaise saison reste en grande partie disponible pour la saison suivante.

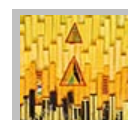
La présente étude avait pour objectif d'évaluer de l'Effet de l'apport de fumier de bovins et de petits ruminants et du Phosphate Naturel de Tilemsi sur la productivité des sols et des cultures dans la région de Mopti en zone sahélienne du Mali.

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Matériel

L'étude a été menée dans la région de Mopti. Les sites retenus ont été le village de Koporo-pen dans la Commune de Koporo-pen, dans la zone agro écologique du Séno, le village de Tougoumé, dans la Commune rurale de Docoumbo sur le Plateau Dogon, et dans le village de Madiama, à la Commune de Madiama, dans la zone du Delta au niveau des champs de brousse. Ces trois sites ont été choisis parce qu'ils sont à la fois représentatifs des trois zones agro écologiques de la région de Mopti et qu'ils sont accessibles. Le Séno correspond à un fossé d'effondrement entre le Plateau Mossi et le Plateau Dogon. Les plaines sont constituées de sable et de grès argileux coiffés d'une dalle cuirassée. Le Séno est dominé au sud par des bancs de collines et au nord par des cordons de dunes. L'ensemble du Séno est assez contrasté du point de vue type de sol ; on y distingue essentiellement trois types de sols : les sols légers sableux (50 %), les sols lourds argilo-limoneux (35 %) et les sols limoneux sableux (15 %) (DRSPR, 1992).

Comme le reste du Plateau Dogon, la Commune Rurale de Docoumbo est caractérisée par un relief très accidenté, composé d'un massif de 600 m d'altitude entouré de zones basses. Il s'agit de grès siliceux, caractérisés par une grande hétérogénéité. On observe



ça et là des collines et des étendues rocailleuses constituées d'un empilement de bancs gréseux. La situation géomorphologique de la commune justifie la rareté des sols de culture, qui ne représentent que 22 % de la superficie totale du cercle, le reste étant occupé par des affleurements rocheux. Les terres sont dégradées à cause de l'insuffisance de couvert végétal et à cause des eaux de ruissellement (DRSPR, 1992).

La commune de Madiama est située dans le Delta Central du Fleuve Niger dans le bassin sédimentaire du moyen Bani, qui a été comblé par les alluvions du quaternaire. Les oscillations du niveau marin et les variations climatiques pendant le quaternaire ont provoqué plusieurs phases de creusement fluvial et d'alluvionnement qui ont donné des dépôts très variés par leur granulométrie et leur position topographique. Selon les travaux de Badini, 2001, la série texturale des types de sol des unités morpho pédologiques répertoriées comprend : sable, sable limoneux, limon gravillonnaire, limon sableux, limon, limon argileux et argile.

Le climat de la région est de type sahélien, il présente une saison sèche qui s'étend d'octobre à mai et une saison pluvieuse de juin à septembre. La pluviométrie a été en moyenne de 468 mm de 1977 à 2005, avec un minimum de 273 mm reçu en 2002 et un maximum de 643 mm en 1999 (Traoré et al., 2002). Il est caractérisé par une température moyenne annuelle de 29,1°C avec un maximum aux mois d'avril et de mai et un minimum au mois de janvier ; par une humidité relative annuelle moyenne de 44 % dont le maximum se situe aux mois d'août, septembre, octobre et le minimum aux mois de janvier, mars, avril ; par un ensoleillement minimal de six heures par jour en juillet, qui augmente pour atteindre son maximum en février avec 8 heures par jour et par saison pluvieuse (Traoré et al., 2002).

2.2. Méthodes

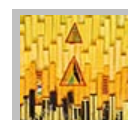
L'étude a été menée dans la région de Mopti. Les trois sites retenus pour l'expérimentation ont été la sous station de recherche agronomique de Koporo-pen (commune de Koporo-pen) dans la zone agro-écologique du Séno, le village de Tougoumé dans la Commune rurale de Docoumbo sur le Plateau Dogon et le village de Madiama dans la zone du Delta au niveau des champs de brousse. Ces trois sites ont été choisis parce qu'ils sont à la fois représentatifs des trois zones agro-écologiques de la région de Mopti et accessibles. Selon le Centre Régional de Recherche Agronomique de Mopti, les paysans y sont volontaires et ils manifestent leur intérêt pour les innovations technologiques. Les sites présentent les caractéristiques suivantes :

La commune rurale de Koporo-pen est localisée dans le Séno qui, dans son ensemble, correspond à un fossé d'effondrement entre le plateau Mossi et le Plateau Dogon. Les plaines sont constituées de matériaux du

continental terminal (sable et grès argileux) coiffés d'une dalle cuirassée. Le Séno est dominé au sud par des bancs de collines et au nord par des cordons de dunes. La zone d'étude se situe dans cette zone dunaire. L'ensemble du Séno est assez contrasté du point de vue type de sol ; en effet, on y distingue essentiellement trois types de sols : les sols légers sableux (50 %), les sols lourds argilo-limoneux (35 %) et les sols limoneux sableux (15 %) (DRSPR, 1992). Le climat, de type sahélien comprend une saison sèche qui s'étend d'octobre à mai et une saison pluvieuse de juin à septembre. La pluviométrie est en moyenne de 468 mm (de 1977 à 2005), avec un minimum de 273 mm reçu en 2002 et un maximum de 643 mm (Traoré et al., 2005).

Comme le reste du plateau Dogon, la commune rurale de Docoumbo est caractérisée par un relief très accidenté, composé d'un massif de 600 m d'altitude entouré de zones basses. Il s'agit de grès siliceux, caractérisés par une grande hétérogénéité. On dénote ça et là des collines et des étendues rocailleuses constituées d'un empilement de bancs gréseux. La situation géomorphologique de la commune justifie la rareté des sols de culture, qui ne représentent de façon estimative, que 22 % de la superficie totale du cercle, le reste étant occupé par des affleurements rocheux. A l'état actuel, les terres sont dégradées à cause de l'insuffisance de couvert végétal et des eaux de ruissellement (DRSPR, 1992). Le climat est caractérisé par une saison humide de mai à octobre et une saison sèche de novembre à avril. Il est caractérisé par une température moyenne annuelle de 29,1°C avec un maximum aux mois d'avril et de mai et un minimum au mois de janvier ; par une humidité relative annuelle moyenne de 44 % dont le maximum se situe aux mois d'août, septembre, octobre et le minimum aux mois de janvier, mars, avril ; par un ensoleillement minimal de six heures par jour en juillet, qui augmente pour atteindre son maximum en février avec 8 heures par jour et par saison pluvieuse (Traoré, 2005).

La commune de Madiama est située dans le Delta Central du Fleuve Niger en particulier dans le bassin sédimentaire du moyen Bani qui a été comblé par les alluvions du quaternaire. Le relief relativement élevé en bordure a été façonné dans les grès infracambriens de Bandiagara. La vallée moyenne du Bani et du Niger a commencé sa formation au début du quaternaire avec l'entaille des grès infracambriens, coiffés d'une cuirasse ferrugineuse dont on retrouve les vestiges sur les bordures de la commune. Les oscillations du niveau marin et les variations climatiques pendant le quaternaire ont provoqué plusieurs phases de creusement fluvial et d'alluvionnement qui ont donné des dépôts très variés par leur granulométrie et leur position topographique. Selon les travaux de Badini, 2001, la série texturale des types de sol des unités morpho-pédologiques répertoriées comprend : sable, sable limoneux, limon



gravillonnaire, limon-sableux, limon, limon-argileux et argile.

Le choix des paysans collaborateurs a été le principe directeur dans la conduite des tests. Il a été fait en assemblée villageoise en juin 2005 en présence des agents du service d'encadrement technique local et de quelques membres de la Commission Régionale des Utilisateurs des Résultats de la Recherche (CRU). Les critères de ce choix ont été focalisés surtout sur la volonté, la disponibilité du producteur et l'accessibilité de la parcelle de test.

Le dispositif expérimental était le bloc de Fisher à 6 traitements en 4 répétitions dans chaque zone agroécologique. La superficie de la parcelle élémentaire était de 150 m².

En première année, le traitement T₀ est une culture continue de mil sans aucun apport d'engrais. Le T₁ a reçu uniquement la dose de 300 kg.ha⁻¹ de PNT, par parcelle élémentaire pendant le labour. Le T₃ et le T₄ ont reçu respectivement : 2t.ha⁻¹an⁻¹ et 5t.ha⁻¹3ans⁻¹ de fumier de bovins par parcelle élémentaire pendant le labour et la dose de 300kg.ha⁻¹ de PNT, par parcelle élémentaire. Les traitements T₅ et T₆ ont reçu respectivement une dose de 2t.ha⁻¹an⁻¹ et 5t.ha⁻¹3ans⁻¹ de fumier de petits ruminants, et la dose de 300kg.ha⁻¹ de PNT, par parcelle élémentaire pendant le labour. En deuxième et troisième années les traitements qui ont reçu 5t.ha⁻¹3ans⁻¹ de fumier avec du PNT ont été reconduits sans aucun autre apport. Tandis que les traitements qui ont reçu 2t.ha⁻¹3ans⁻¹ de fumier de Bovin et de Petits Ruminants ont été reconduits sans PNT.

La variété locale du mil, *Pennisetum glaucum* (L.) bien adaptée à la zone, a été semée à plusieurs graines (minimum 8 grains) par poquet à l'écartement de 1 m entre les lignes et 1 m entre les poquets et démarrée à 2-3 plants par poquet 15 jours après la levée. Le semis a été fait quand les sols étaient suffisamment humectés après une pluie d'au moins 15 mm. Le premier sarclage a eu lieu 15 jours après la levée tandis que le deuxième sarclage a été effectué à 20 jours après le premier. Les autres sarclages ont été faits au besoin.

La détermination du Carbone organique du sol (Méthode Anne modifiée) a été réalisée à partir du principe suivant : le carbone dans le sol est oxydé par un mélange de dichromate de potassium et d'acide sulfurique. L'excès de K₂Cr₂O₇ éliminé par une solution contenant le Fe²⁺ (sous la forme de sel de Mohr ou de sulfate de fer). L'acide phosphorique est utilisé pour complexer l'ion Fe afin d'obtenir un point de virage plus distinct. La différence en meq. Fe utilisé pour l'échantillon et pour l'essai à blanc permet de calculer le contenu de carbone dans le sol. Des analyses élémentaires ont montré que 97 % du carbone dans le sol sont oxydés de cette façon. Le

pourcentage de matière organique dans le sol peut être calculé sur la base du taux de carbone suivant la formule ci-dessous (Nelson et Sommers, 1982). % C = 0,24 x (a-b) x (13/V)/g Où a = volume versé pour le blanc b = volume versé pour l'échantillon. V = volume versé pour le contrôle de la solution de Fe G = poids de l'échantillon % MO = 1,72 x % C Précision 0,01 près. Le calcul des moyennes des taux d'éléments du sol, et les analyses de la variance pour les rendements ont été effectués pour déterminer la différence entre les effets des traitements et le test de Duncan a été utilisé pour séparer les moyennes des différents traitements.

III. RÉSULTATS

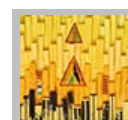
3.1. Effet de l'apport de fumier de bovins et de petits ruminants et du Phosphate Naturel de Tilemsi sur le sol.

• Effet de l'apport du fumier de parc et du Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) sur le taux de N, P₂O₅ et K₂O du sol dans la commune de Koporo pen

Les résultats des analyses chimiques du sol après la première année de culture ont montré que le taux d'accroissement de l'azote du sol par rapport au T₀ a été de 66,6%, respectivement pour : le T₁, T₃, et le T₅ (Tableau 1). Ce taux d'augmentation a été de 44,4% avec le T₂ et le T₄. En deuxième année, le taux d'accroissement de l'azote a été de 9,52% avec le T₁, de 14,29% pour le T₂, et de 23,81% pour le T₃. Le T₄ a généré un déficit d'azote de 4,76% par rapport au T₀. Enfin le taux d'azote dans le sol n'a pas connu d'augmentation avec le T₅. Les résultats des analyses chimiques du sol ont montré en troisième année, un taux d'amélioration de l'azote dans le sol de 20% avec le T₅. Le T₁ a permis d'obtenir un taux d'accroissement de l'azote de 15% par rapport au T₀, de même que le T₃ et le T₄. Enfin le T₂ a permis d'obtenir un taux d'augmentation a été de 5%.

Le taux de P₂O₅ dans le sol en première année, a connu un regain avec le T₁, de 126,70% (52,2ppm). Le taux d'amélioration a été de 18,20% (7,5ppm) aussi bien pour le T₂, que pour le T₄. Le taux de P₂O₅ dans le sol a été de 37,86% (15,6ppm) avec le T₃ et le T₅. En deuxième année, le taux de P₂O₅ dans le sol a connu un taux d'amélioration de 7,12% (2,6ppm) aussi bien avec le T₁, qu'avec le T₂ et le T₄. Le taux de regain a été de 48%(16,9ppm), avec le T₃ et le T₅. Le taux d'amélioration de P₂O₅ dans le sol a été de 7,79% (4,30ppm) avec le T₃ et le T₅. Le taux de P₂O₅ dans le sol a connu également une progression de 7,61% (4,20ppm), avec le T₁ et le T₄. Cependant le T₂, n'a montré aucune amélioration du P₂O₅ du sol.

La progression du taux de K₂O dans le sol par rapport au T₀ a été de 107,2% (303,7ppm) avec le T₁ et T₄ en première année. Pour le T₅, le regain de K₂O dans le sol a été de 89,16% (252,6ppm). Ce taux a été de 80,16% (227,1ppm) avec le T₃. Enfin, pour le T₂, le



taux d'augmentation par rapport à T₀ a été de 53,16% (150,6ppm). Cependant en deuxième année, l'amélioration du taux K₂O dans le sol par rapport au T₀ a été de 40,26% (93ppm) avec le T₁, de 27,2% (63ppm) pour le T₂, et de 70,13% (162ppm) avec le T₃. Le T₄ a permis d'obtenir un taux d'accroissement du K₂O dans le sol de 48,92%(113ppm). Le taux de progression du K₂O dans le sol a été de 52,8%

(122ppm) pour le T₅. En troisième, le taux de K₂O dans le sol a connu un déficit par rapport au T₀ de 18,75% (62ppm) avec le T₁, de 20,84% (68,9ppm) pour le T₂, de 4,17% (13,8ppm) avec le T₃ et de 10,41% (34,4ppm) pour le T₄. Mais avec le T₅, le taux de progression du K₂O du sol par rapport à celui de T₀ a été de 8,35% (27,6ppm).

Tableau 1. Variation du taux de l'azote et des quantités de phosphore et de potassium du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Koporo pen.

Itinéraires Techniques	Années	Mil	Mil et 300kg PNT	Mil+2t/ha/an Fumier Bovins et 300kgPNT	Mil+5t/ha/3ans Fumier Bovins et 300kgPNT	Mil+2t/ha/an Fumiers petits Ruminants et 300kgPNT	Mil+5t/ha/3ans Fumiers petits Ruminants et 300kgPNT
		T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
		0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
N total %	2005	0,009	0,015	0,013	0,015	0,013	0,015
	2006	0,021	0,023	0,024	0,026	0,020	0,021
	2007	0,020	0,023	0,021	0,023	0,023	0,024
P ₂ O ₅ total ppm	2005	41,2	93,4	48,7	56,8	48,7	48,7
	2006	39,3	42,1	42,1	56,2	42,1	56,3
	2007	55,2	59,4	55,2	50,9	59,4	50,9
K ₂ O total ppm	2005	283,3	587,0	433,9	510,4	510,4	535,9
	2006	231	324	294	393	344	353
	2007	330,6	268,6	261,7	316,8	296,2	358,2

(Source : analyse du sol : BUNASOL 2005, 2006,2007)

- Effet de l'apport du fumier de parc et du Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) sur le carbone total du sol dans la commune rurale de Koporo pen**

Les résultats des analyses chimiques du sol après la deuxième année de culture ont montré un accroissement du taux de carbone dans le sol par rapport au T₀ de 19,8% pour le T₁, de 28,5% pour le T₂, de 39,6% pour le T₃, de 7,4% pour le T₄, et de 23,9% pour le T₅ (Figure 1). Après la troisième année de culture on observe une baisse du taux de carbone total dans tous les traitements comparativement à la deuxième année. Le taux de carbone dans le sol a connu accroissement de 26,29% avec le T₁, de 26,6% avec le T₂, de 23,47% avec le T₃, de 26,29% avec le T₄, et de 44,13% avec le T₅. Le rapport C/N a été de 14 pour T₁ et de 12 pour le T₂. Un C/N de 13 a été obtenu pour le T₃.

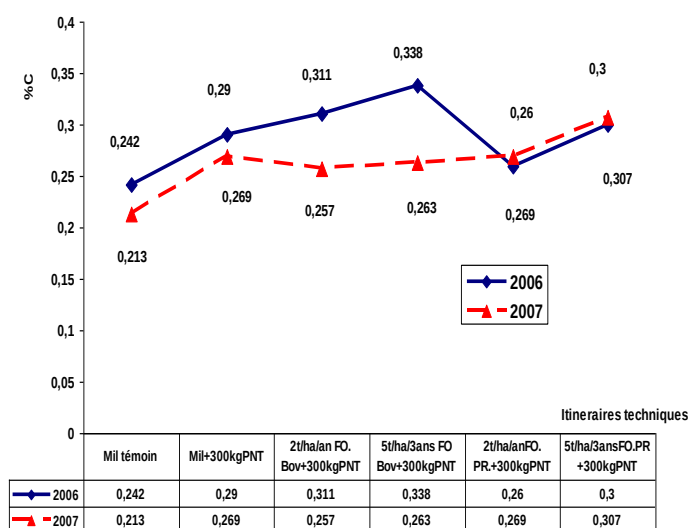
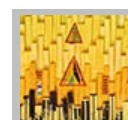


Figure 1. Variation du taux de carbone du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Koporo pen

- Effet de l'apport du fumier de parc et du Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) sur le pH du sol dans la commune rurale de Koporo pen.**

Les résultats des analyses chimiques du sol après la deuxième année ont montré que le pH du sol a des



valeurs comprises entre 5,0 et 6,5 donc restes acides, mais les variations des valeurs du pH vers 6 ont été observées dans tous les traitements qui ont reçu du PNT. Les valeurs de pH proches de 5 se trouvent dans les traitements, qui chaque année reçoivent du fumier. (Figure 2). En troisième année, les valeurs du pH du sol ont baissé dans tous les traitements. Le pH a baissé dans les traitements, qui ont reçu du fumier de bovins.

3.2 Effet de l'apport du fumier de parc et du Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) sur le rendement du mil dans les communes rurales étudiées.

Des tests en milieu paysan ont montré que l'application du fumier de bovins, et de petits ruminants à différentes doses et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹de

PNT dans la fertilisation du mil en trois ans permet d'obtenir des rendements (grains et paille) supérieurs à ceux de la culture continue de mil. Ainsi, l'application de 2t.ha⁻¹.an⁻¹ de fumier de bovins et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹de PNT permet d'augmenter la production par hectare en grain de mil par rapport au témoin de 57,59%, et de 52,8% avec l'application de 5t.ha⁻¹.3ans⁻¹ de fumier de bovins et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹de PNT. L'apport de 2t.ha⁻¹.an⁻¹ de fumier de petits ruminants et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹de PNT permet d'obtenir un taux d'accroissement du rendement grain de 60,11% et de 63,8% avec le 5t.ha⁻¹.3ans⁻¹ de fumier de petits ruminants et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹de PNT par rapport au témoin. Enfin, l'application de 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹de PNT permet d'obtenir un accroissement du rendement grain de 16%.

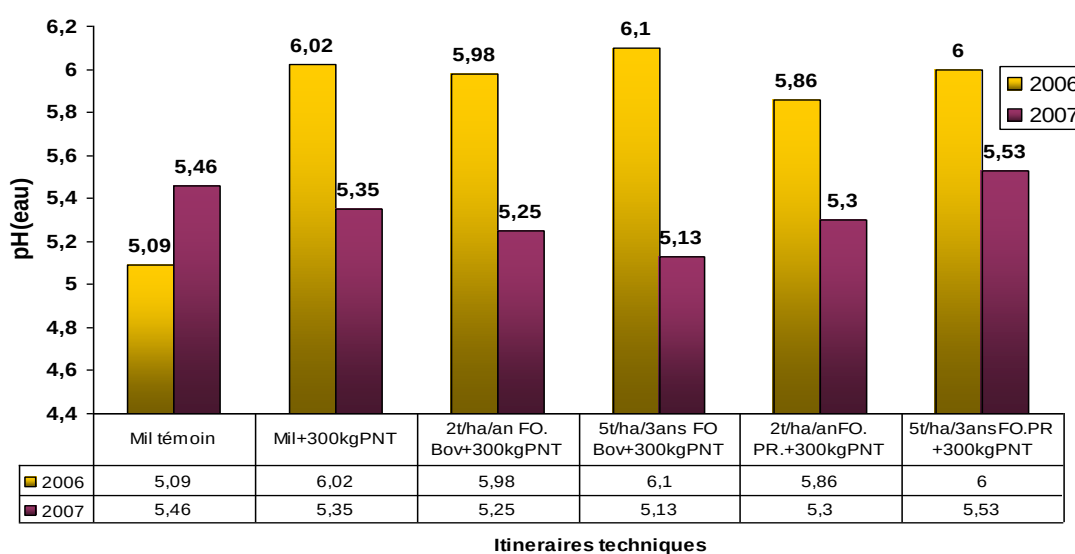


Figure 2. Variation du pH du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Koporo pen.



Tableau 2. Indicateurs de production de l'apport du fumier de parc et du phosphate naturel de Tilemsi (PNT) dans les communes rurales étudiées.

Communes	Itinéraires techniques	Années	Mil Témoin T ₀		Mil + 300Kg PNT T ₁		Mil+2T/ha/an Fumier Bovins + 300 Kg PNT T ₂		Mil+5T/ha/3ans Fumier Bovins + 300Kg PNT T ₃		Mil+2T/ha/an Fumier PR + 300Kg PNT T ₄		Mil+5T/ha/3ans Fumier PR + 300 Kg PNT T ₅	
	Indicateurs		Grain	Paille	Grain	Paille	Grain	Paille	Grain	Paille	Grain	Paille	Grain	Paille
Koporo pen	Rendement moyen (kg/ha)	2005	485	4350	595(ns)	4200(ns)	630(ns)	4600(ns)	780(ns)	5850(ns)	675(ns)	5500(ns)	1 055(ns)	7400(ns)
		2006	1440	4310	1255(ns)	3550*	1600(ns)	5850*	1730(ns)	5700*	1385(ns)	4600*	1840(ns)	6300*
		2007	506	2512	621**	2722(ns)	1 280**	3768(ns)	956**	3200(ns)	1240**	4608(ns)	1200**	3904(ns)
	Coût total de production	2005	24 075	-	70 505	-	116 985	-	189 635	-	133 555	-	235 095	-
		2006	36 005	-	35 240	-	92 965	-	42 855	-	106 110	-	44 045	-
		2007	23 863	-	26 985	-	88 805	-	32 793	-	104 225	-	35 725	-
	Bénéfices/ Pertes	2005	43 825	-	12 795	-	-28 785	-	-80 435	-	-39 055	-	-87 395	-
		2006	151 195	-	127 910	-	115 035	-	182 045	-	73 940	-	195 155	-
		2007	41 917	-	53 615	-	77 595	-	91 487	-	56 975	-	120 275	-
Madiama	Rendement moyen (kg/ha)	2005	645	4680	850*	6300*	1 175*	6050*	1 030*	8795*	1 075*	8150*	1 000*	8200*
		2006	1560	14500	1810**	12400**	2450**	18100**	2300**	16300**	2250**	16800**	2850**	20800**
		2007	778	3385	1133**	4933**	1538**	6693**	1238**	5388**	1625**	7067**	1330**	5795**
	Coût total de production (Fcfa)	2005	26 315	-	70 575	-	124 615	-	193 135	-	139 155	-	234 325	-
		2006	39 125	-	44 265	-	106 465	-	52 565	-	119 605	-	60 025	-
		2007	28 170	-	34 780	-	93 690	-	37 690	-	110 855	-	38 745	-
	Bénéfices /Pertes	2005	63 985	-	48 425	-	39 885	-	-48 935	-	11 345	-	-94 325	-
		2006	179 275	-	209 135	-	236 535	-	269 435	-	195 895	-	338 975	-
		2007	80 680	-	123 770	-	121 560	-	135 560	-	116 785	-	147 455	-
Doucombo	Rendement moyen (kg/ha)	2005	870	5525	770(ns)	6025(ns)	600(ns)	5466(ns)	690(ns)	6825(ns)	500(ns)	4225(ns)	540(ns)	5600(ns)
		2006	960	3050	1 180**	3375**	1 333**	4200**	1 620**	4375**	1 430**	3925**	1 550**	4275**
		2007	865	2300	1 311**	3710*	1 493**	4127*	1 308**	4515*	1 533**	3700*	1 385**	4125*
	Coût total de production	2005	33 465	-	76 955	-	120 765	-	192 375	-	135 105	-	231 885	-
		2006	30 725	-	35 445	-	90 832	-	43 045	-	108 125	-	41 825	-
		2007	29 395	-	37 283	-	93 072	-	38 670	-	109 560	-	39 515	-
	Bénéfices /Pertes	2005	88 335	-	30 845	-	-36 765	-	-95 775	-	-65 105	-	-156 285	-
		2006	103 675	-	129 755	-	95 835	-	183 755	-	92 075	-	175 175	-
		2007	91 705	-	146 293	-	115 995	-	144 380	-	104 990	-	154 385	-

*: Significatif ; ** : très significatif ; ns : non significatif (PR = Petit Ruminant)

(Source : tests en milieu paysan)

3.3. Évaluation des techniques

Pour l'évaluation des différentes techniques le temps de travail, prix (FCFA), les quantités (kg/ha) des intrants et produits agricoles ont été calculés. Ainsi, le Tableau 10 indique le nombre d'hommes qui travaillent par jour (homme/jour) pour les différents travaux. Il a été estimé à partir du nombre de travailleurs impliqués pour l'installation du test chez

un paysan. Les valeurs obtenues ont été ramenées à l'hectare. Ainsi, de nombreuses investigations ont été faites sur le terrain auprès des techniciens et des paysans pour aboutir à des données supposées raisonnables d'homme/jours par tâche. Quant au travail concernant la récolte, il a été évalué à 10% de la valeur de la production.

Tableau 3. Nombre d'hommes par jours et par hectare

Activités	Mil	Niébé
Labour (tous les ans)	2	2
Semis (tous les ans)	1	1
Sarclage 1 (tous les ans)	3,75	4
Sarclage 2 (tous les ans)	2,25	1
Epandage 2T de fumure organique (tous les ans)	2	-
Epandage 5T de fumure organique (1 ^{ère} année)	3	-
Epandage 300kg de PNT (1 ^{ère} année)	1,5	1,5
Epandage 600kg de PNT (1 ^{ère} année)	-	2

(Source : enquête exploitations 2005)

Les prix de vente du mil, du niébé au producteur varient d'une année à l'autre et dans la même année les prix varient d'une période à l'autre. Ils sont les plus bas, juste après les récoltes et montent progressivement pour atteindre le maximum vers le début de la campagne agricole suivante. Les investigations sur les marchés des différents sites ont permis de retenir le prix moyen de vente du mil à 140FCFA.kg⁻¹ dans le Delta Central du Niger sur les

trois ans et dans le Séno en première année, le prix moyen de 130FCFA.kg⁻¹ sur le Plateau Dogon durant les trois ans et les deux dernières années pour le Séno. Le prix moyen de vente de grains de niébé utilisé dans nos évaluations a été de 300FCFA et celui des fèves 125FCFA pour l'ensemble des sites. Les prix des engrais, les quantités recommandées et la valeur du fumier sont indiqués dans les Tableaux 3, 4 et 5.

Tableau 4. Prix (FCFA) du mil, du niébé, des intrants et quantité (Kg/ha) d'intrants.

Produits et intrants	Unité	Prix en FCFA	Quantité d'intrants par hectare
Mil (semence)	kg	225	5kg.ha ⁻¹
Fumier de Bovins	kg	22,32	2 et 5 t.ha ⁻¹
Fumier de petits ruminants	kg	30,69	2 et 5 t.ha ⁻¹
Fumier recommandé	kg	26,50	10 à 15t.ha ⁻¹
PNT	kg	120	300-600 kg.ha ⁻¹
Labour	½ ha	4000	
Transport fumier	kg	250	
Autre main d'œuvre	h/jour	750	

(Source : enquête exploitations 2005)

Tableau 5. Valeur (FCFA) du fumier, calculée à partir de son taux en éléments, du coefficient (Kg engrais / Kg élément), du taux d'engrais dans le fumier et du prix engrais (FCFA.kg⁻¹)

Engrais	% de l'élément dans le fumier	Coefficient (Kg engrais / Kg élément)	% engrais dans le fumier	Prix engrais (FCFA.kg ⁻¹)	Valeur du fumier (FCFA.kg ⁻¹)
Fumier bovin					
Kg. N	0,980	2,18	0,021	310	6,51
Kg. P ₂ O ₅	0,580	2,27	0,013	310	4,03
Kg. K ₂ O	1,680	2,27	0,038	310	11,78
					22,32
Fumier petit ruminant					
Kg. N	1,250	2,18	0,027	310	8,37
Kg. P ₂ O ₅	0,830	2,27	0,018	310	5,58



Kg. K ₂ O	2,400	2,27	0,054	310	16,74
					30,69

(Source : enquête exploitations 2005)

IV. DISCUSSIONS

Dans ce contexte, et face aux irrégularités des pluies et aux multiples risques associés à l'application des engrais, il convient de déterminer des doses, méthodes d'application des fumures organique et minérale afin de répondre aux besoins des cultures. En effet, l'application du fumier de bovins, et de petits ruminants à différentes doses et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT dans la fertilisation du mil permet d'obtenir des rendements (grains et paille) supérieurs à ceux de la culture continue de mil. Elle améliore également les taux d'azote et de phosphore dans les grains et pailles. Ainsi, l'application de 2t.ha⁻¹an⁻¹ de fumier de bovins et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT permet d'augmenter la production par hectare en grain de mil par rapport au témoin de 57,59%, et de 52,8% avec, l'application de 5t.ha⁻¹3ans⁻¹ de fumier de bovins et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT. L'apport de 2t.ha⁻¹an⁻¹ de fumier de petits ruminants et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT permet d'obtenir un taux d'accroissement du rendement grain de 60,11% et de 63,8% avec le 5t.ha⁻¹3ans⁻¹ de fumier de petits ruminants et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT, par rapport au T₀. Enfin, l'application de 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT permet d'obtenir un accroissement du rendement grain de 0 à 16%. Cette amélioration de la production a été démontrée à partir des études menées à Cinzana, sur l'amélioration de la qualité du fumier de parc, l'évaluation de la source et du mode d'épandage de la fumure organique. L'addition d'un complément minéral à base de phosphate d'ammoniac, de complexe céréale ou de Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) permet d'améliorer la production céréalière de façon significative (Traore *et al.*, 2000). En dépit des surplus observés avec l'application du fumier et du PNT à différentes doses, les années de mauvaise pluviométrie ont été marquées par des déficits de production, avec brûlure des plants (dans les parcelles qui ont reçu les grandes quantités de fumier) et perte en valeur ajoutée par rapport au témoin. L'application de 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT a donné des rendements mitigés, peu différents de celui du témoin.

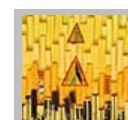
Les résultats des analyses chimiques du sol dans tous les traitements ont montré en deuxième année, une augmentation de la valeur du pH du sol, et de sa concentration en matière organique. Cette augmentation de la valeur du pH serait dû aux propriétés améliorantes du PNT permettant de récupérer des sols dégradés, d'accroître le pouvoir tampon des sols acides, dans certains cas assurer le rôle de chaulage grâce à sa forte concentration en calcium (Doumbia, 1993). En troisième année, on observe une baisse de la valeur du pH accompagnée d'une diminution de la concentration du sol en matière organique pour l'ensemble des traitements. Le bilan en K₂O a été positif pour les itinéraires

utilisés, par contre il a été déficitaire pour N et P₂O₅. Mais le déficit est plus faible avec l'apport des 5t.ha⁻¹3ans⁻¹ de fumier de petits ruminants et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT, et celui des 5t.ha⁻¹3ans⁻¹ de fumier de bovins et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT. Ce qui conduit à tirer une conclusion similaire à celle de Traore *et al.*, 2000 selon laquelle le niveau des réserves du sol en éléments nutritifs diminue suite aux effets d'exportation des cultures.

V. CONCLUSION

Au Mali, les céréales couvrent 80 à 90% des besoins alimentaires de la population. Dans cette zone sahélienne, la mauvaise gestion des terres agricoles et l'inadéquation entre le prix des intrants et celui des cultures vivrières constituent des éléments importants dans la dégradation continue des sols. La réduction, voire l'abandon de la jachère qui était la méthode traditionnelle de restauration de la fertilité du sol a entraîné un appauvrissement rapide des sols en éléments nutritifs et une baisse de la productivité des cultures. Dans la région de Mopti, le mil est l'une des cultures les plus importantes et représente 53% de la production agricole. Au cours de ces trois dernières décennies les rendements sont en baisse suite à la dégradation des sols et aux effets néfastes du climat sur le couvert végétal et les ressources en eau. Il en découle que la région connaît une insécurité alimentaire permanente.

Ainsi, une meilleure appréhension de la pratique de gestion des amendements organiques basés sur le transport de fumier aux champs, amélioré avec du Phosphate de Tilemsi : Des tests en milieu paysan ont montré que l'application du fumier de bovins, et de petits ruminants à différentes doses et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT dans la fertilisation du mil en trois ans permet d'obtenir des rendements (grains et paille) supérieurs à ceux de la culture continue de mil. Ainsi, l'application de 2t.ha⁻¹an⁻¹ de fumier de bovins et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT permet d'augmenter la production par hectare en grain de mil par rapport au témoin de 57,59%, et de 52,8% avec l'application de 5t.ha⁻¹3ans⁻¹ de fumier de bovins et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT. L'apport de 2t.ha⁻¹an⁻¹ de fumier de petits ruminants et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT permet d'obtenir un taux d'accroissement du rendement grain de 60,11% et de 63,8% avec le 5t.ha⁻¹3ans⁻¹ de fumier de petits ruminants et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT par rapport au témoin. Enfin, l'application de 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT permet d'obtenir un accroissement du rendement grain de 16%. Les résultats des analyses chimiques du sol dans tous les traitements ont montré en deuxième année, une augmentation de la valeur du pH (qui reste toujours) du sol et une augmentation de la concentration du sol en matière organique. En troisième année, on observe



une baisse de la valeur du pH accompagnée d'une diminution de la concentration du sol en matière organique pour l'ensemble des traitements. Le développement d'une agriculture durable dans la région de Mopti nécessite une utilisation des ressources locales (phosphate naturel, fumure organique) combinée à des bonnes techniques culturales comme une alternative à l'utilisation des engrais minéraux importés. Une fertilisation adéquate pour une production durable est possible en utilisant une fumure organo-minérale.

REFERENCES

- [1] Badini O., 2001. Agro-climatic assessment (description and analysis) of Madiama Commune in Mopti, Region, Mali (West Africa) (Draft) 102pages.
- [2] Badini O., 2001. Etude morpho-pédologique de la commune de Madiama, cercle de Djénné, Mali : 29 pages.
- [3] Bationo A., Seyni F., Buerkert A.C et Bielders, 1998. Rotation céréale – légumineuse.
- [4] Bationo, A., Koala, S., Ayuk, E., 1998. Fertilité des sols pour la production céréalière en zone sahélo-soudanienne et valorisation des phosphates naturels in Dossier : Fertilité des sols et environnement : quelques outils, indicateurs et approche récentes : Cahiers Agriculture 1998; 7pages.
- [5] Doumbia. M. D. 1993. Nutrient stress in acid soils of the cinzana station, Mali Desertification of Ph.D. Texas A. & M University.
- [6] DRSPR. 1992.. (Département de la Recherche sur les Systèmes de Production Rurale), Éléments de reconnaissance générale dans les zones du Sèno et du Delta en 5ème région. 27pages.
- [7] Gerner H., Harris G., 1993. Utilisation et approvisionnement des engrais en Afrique Sub-saharienne. Le rôle de la fertilisation pour assurer une production durable des cultures vivrières en Afrique Sub-saharienne.
- [8] Kamara A., Joldersma R., Defoer T., Fomba B., 1994. L'utilisation du PNT. Une Analyse des problèmes et des possibilités d'adoption. Rapport de recherche. Document N°94/14.
- [9] Kieft H., Keita N., et van der Heide A., 1994. Engrais fertiles ? Vers une fertilité durable des terres agricoles au Mali.
- [10] Morel C. Fardeau J.C., 1990. Uptake of phosphate from soils and fertilizer as affected by soil P availability and solubility of phosphorus fertilizer. Plant and soil, 121- 217.
- [11] N'Diaye M.K., Guindo D., Dicko M.K. 1994. Gestion de la fertilité des sols rizicoles de l'O.N. IER Niono Mali.
- [12] Pichot J. Sogodogo M.P., Poulain. J.F, Arrivets J., 1981. Evolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sous l'influence de fumures minérales et organiques, Agronomie tropicale 26 13 pages.
- [13] Pieri C., 1989. Fertilité des terres de savanes 444p
- [14] Traore B., Samake O., Badini O., 2002. Combinaison de l'expression régionale et de la gestion holistique pour la recherche des Alternatives d'amélioration de la fertilité du sol de la Commune de Madiama 18 Pages.
- [15] Traore S., Bagayoko M., Coulibaly B.S., Coulibaly A., 2000. Amélioration de la gestion de la fertilité des sols et celle des cultures dans les zones sahéliennes de l'Afrique de l'Ouest: une condition sine qua non pour l'augmentation de la productivité et de la durabilité des systèmes de culture à base de mil. 23 Pages.
- [16] Traore S., 2005. Fiche technique des techniques culturales performantes pour de nouvelles variétés de mil 07 IER 6pages.
- [17] Veldkamp W.J, Traore A, N'Diaye K, Keita M.K, Keita B, Bagayoko M., 1991. Fertilités des sols du Mali ; Mali Sud/ Office du Niger : Interprétation des données analytiques des sols et plantes. Decembre 1991.



Etude de la qualité de l'air à Bamako (Mali)

Yacouba Maiga^{1*}, Sékou Sako¹, Boubakar Kola Touré¹, Mohamed Sida Maiga¹ et Cheikh Diop²

¹Faculté des Sciences et Techniques, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Mali

²Institut des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar. Dakar-Fann, Sénégal

* Auteur correspondant: E-mail: acpmfr@yahoo.fr

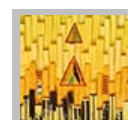
RESUME : La qualité de l'air est devenue une préoccupation importante des grandes métropoles africaines, en particulier de par ses effets sur l'environnement et la santé. Des mesures ont été prises pour améliorer la qualité de l'air ambiant, notamment au travers du programme de la Banque mondiale « Initiative sur la qualité de l'air dans les villes d'Afrique sub-saharienne ». A Bamako, une prise de conscience des pouvoirs publics sur la pollution de l'air est apparue à la suite de quelques mesures de concentration en poussières réalisées entre octobre et décembre 2009, et août 2019. La croissance rapide de la population et du trafic automobile de l'agglomération entraîne une croissance significative de cette pollution. Cette étude passe par un état des lieux de la pollution atmosphérique avec des mesures de qualité de l'air ambiant en un certain nombre de point et des résultats très satisfaisants ont été atteints dans certains domaines, puis l'étude comprend un calcul des émissions réalisé à partir d'un modèle spécifique, enfin des propositions d'actions sont faites dans le but de diminuer les émissions et l'impact de ces actions sont évalué par le biais d'un modèle sanitaire adapté. Les hypothèses du plan d'actions ont été testées sous la forme de scénarios. Les principales actions envisagées ont portées sur le parc automobile et les transports, la qualité des carburants et enfin l'aménagement urbain.

Mots clés : Emissions atmosphériques, qualité de l'air, Bamako

I. INTRODUCTION

Selon (Bauer et al, 2019), 780 000 décès prématurés en Afrique seraient dus à la pollution par les particules fines et l'ozone (O₃). Cette situation est d'autant plus marquée dans les pays sub-sahariens (Amegah K. A. et Agyei-Mensah S., 2017) où l'absence de données robustes des niveaux de pollution en raison d'un réseau de mesures quasi-inexistant, le manque d'évidences locales sur les relations entre les impacts de la pollution urbaine sur les populations exposées, et l'absence d'un cadre réglementaire pour la gestion de la qualité de l'air, empêche d'alerter sur les situations rendant les population particulièrement vulnérables. Bamako, capitale du Mali, sur les bords du fleuve Niger en est l'exemple type. La ville qui concentre près de 3.4 million d'habitants, et plus de la moitié de la population urbaine du pays, a connu un fort essor démographique au cours du 21^{ème} siècle, sans pour autant avoir pu mettre en place les infrastructures et les réglementations nécessaires à la protection de l'environnement. Le transport routier, les pollutions d'origine résidentielle et industrielles ont ainsi très largement participé à dégrader la qualité de l'air de la ville ces dernières décennies. Le district de Bamako concentre un grand nombre d'activités anthropiques (trafic routier, industries, secteur tertiaire) et une forte densité de bâtis engendrant de fortes émissions de polluants. Son climat soudanien dégradé et son site avec un relief accidenté sont plutôt favorables à la dispersion de la pollution atmosphérique (Coulibaly, 2012). Cependant, l'ozone, le dioxyde d'azote et les particules dépassant les moyennes des normes engendrent des

inquiétudes pour la vie sur terre. L'exposition à des concentrations exceptionnelles de ces polluants durant quelques jours ou quelques semaines engendre des problèmes respiratoires, cardio-vasculaires et cardiaques (Le Tertre et al., 2002 ; Stieb et al., 2002 ; Bell et al., 2004 ; Samoli et al., 2006). Une exposition régulière à la pollution atmosphérique augmente les risques de maladies chroniques respiratoires ou cardiovasculaires, et de cancers (Dockery et al., 1993 ; Pope et al., 1995 ; Brücker et al., 2006). L'exposition à la pollution de l'air est caractérisée par la concentration de polluants à laquelle une personne est soumise durant un laps de temps (Ambroise et al., 2005). Cette exposition dépend des variabilités spatiale et temporelle de la pollution de l'air à différentes échelles. Trois échelles spatiales sont définies pour l'étude de la pollution de l'air : locale, régionale et globale (fig. A). L'échelle locale correspond à la pollution de proximité, celle à laquelle les individus sont exposés à proximité directe des sources d'émission (véhicules, industries, chantiers, etc.). La pollution émise est ensuite dispersée ou accumulée, transportée jusqu'à des centaines de kilomètres et/ou transformée en polluants secondaires. Cette pollution de fond se mesure à l'échelle régionale, et dépend beaucoup des conditions météorologiques. Ces deux échelles sont étroitement liées : les niveaux de polluants mesurés à l'échelle régionale dépendent des sources d'émission de l'échelle locale, et les niveaux de polluants mesurés à une échelle locale sont d'autant plus forts que la pollution de fond est élevée. L'échelle globale ou planétaire ne concerne pas directement l'exposition



des individus. La couche d'ozone et le réchauffement climatique sont traités à cette échelle. Les variabilités spatiale et temporelle des taux d'ozone, de dioxyde d'azote et de particules sont étudiées aux échelles régionale et locale dans cette étude. Les conséquences sur la santé des individus de la pollution de l'air sont des préoccupations anciennes : en Angleterre, dès le XIII^e siècle, la Couronne a dû prendre des mesures pour restreindre l'emploi du charbon dans les maisons en raison de la fumée et de l'odeur dégagées... (Cambers, 1968). Durant la deuxième moitié XIX^e siècle, les pollutions atmosphériques se sont multipliées de façon massive dans les régions industrielles européennes et nord-américaines, avec l'utilisation croissante du charbon. Les épisodes de pollution de la vallée de la Meuse, à proximité de Liège, en décembre 1930 (Nemery *et al.*, 2001), de Donora en Pennsylvanie, en octobre 1948, et de Londres, en décembre 1952 (Bell & Davis, 2001), en sont les exemples emblématiques aux conséquences humaines dramatiques. Depuis, le législateur a pris un certain nombre de mesures pour tenter de réduire les émissions et par ailleurs la nature de la pollution a beaucoup changé, au moins en Europe et en Amérique du Nord, où les émissions industrielles et du chauffage ont diminué. En parallèle, la recherche scientifique a évolué et l'on sait distinguer aujourd'hui plusieurs dizaines de polluants dans l'air, qui peuvent se combiner entre eux et se transformer. Parmi ces polluants, il y a les PM (*Particulate Matter* en anglais), dont le taux très variable dans le temps et dans l'espace, est assez souvent à l'origine de bulletins d'alerte destinés à informer la population. Depuis une dizaine d'années, la recherche médicale précise mieux le rôle néfaste de ces PM sur la santé et leur implication dans des pathologies chroniques respiratoires et cardiovasculaires (AFSSET, 2009). Mais, malgré le nombre relativement important d'études (Dab *et al.*, 2001 ; Pope & Dockery, 2006...), ce domaine de la recherche souffre toujours, d'une part, d'une insuffisance de l'évaluation des niveaux d'exposition subis par chaque individu (volumes inhalés sur de longues périodes en particulier) et, d'autre part, d'un manque de connaissance sur les effets sanitaires, surtout à moyen et long terme, des divers types de PM. Selon l'Association Pour la Protection de l'Air (APPA, 2012), « *pollution par les particules, impacts sur la santé, l'air et le climat* » avec plus de 30 articles rédigés par des scientifiques d'horizons disciplinaires différents est révélateur de la diversité des recherches. Bon nombre d'études concernent les effets à court terme (exposition du jour et de la veille à des pics de pollution) ou à moyen terme (exposition cumulée sur quelques dizaines de jours précédents l'admission). C'est dans ce contexte spécifique et pour répondre à une problématique urgente sur l'évaluation de l'état

de la qualité de l'air sur la ville de Bamako que l'ensemble des missions suivantes ont été réalisées :

- Une analyse de la situation actuelle complétée par la réalisation d'une campagne de mesures ;
- Une cartographie de la qualité de l'air sur la ville de Bamako, intégrant :
- Un inventaire des émissions polluantes : identification des différentes sources de pollution de l'air et quantification des différentes sources de pollution ;
- Modélisation de la qualité de l'air à partir de cet inventaire, de la météorologie locale et de l'analyse de la situation actuelle ;
- Une évaluation des impacts sur la santé des concentrations atmosphériques à travers d'indicateurs robustes OMS ;
- Une analyse comparative des niveaux de pollution sur Bamako avec d'autres villes africaines ;
- Une proposition du principe de surveillance de la qualité de l'air.

II. MILIEU D'ETUDE

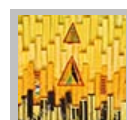
La ville de Bamako joue un rôle important sur le plan économique au Mali. Dans le découpage administratif national, elle a été érigée en un "district" autonome comme les 8 grandes régions nationales que sont par importance démographique décroissante: Sikasso, Koulikoro, Ségou, Mopti, Kayes, Tombouctou, Gao et Kidal. Selon les résultats du dernier recensement général de la population et de l'habitat (RGPH) d'Avril 2009, Bamako rassemble plus de 12% de la population malienne. La ville de Bamako est traversée presque en son milieu d'Est en Ouest par le Fleuve Niger dont la largeur du lit peut aller jusqu'à 1 500 m, et le périmètre urbain global couvre quelque 267 Km². Cependant la zone urbanisée proprement dite couvre une superficie d'environ 19 000 ha de part et d'autre du Fleuve comme suit : au Sud sur la Rive droite se trouvent les Communes V et VI sur une superficie de l'ordre de 12 000 ha jusqu'à l'Aéroport de Bamako-Senou, au Nord sur la Rive Gauche, les Communes I, II, III et IV couvrent une superficie de l'ordre de 7 000 hectares. À l'instar de nombreuses métropoles africaines, la ville de Bamako est construite et s'étale de manière extensive en surface, avec dans les zones résidentielles une très forte prédominance des habitations à un seul niveau se limitant au rez-de-chaussée.

III. OBJECTIFS

Étudier la qualité de l'air à Bamako

Objectifs spécifiques

- Faire une campagne de mesures de la qualité de l'air, et des comptages de circulation
- Analyser la situation actuelle, qualité de l'air ambiant et caractéristiques des émissions.



- Proposer un plan d'actions pour limiter les émissions
- Simuler de l'évolution des émissions et de la qualité de l'air ambiant à l'horizon 2015 et 2020 avec et sans le plan d'actions
- Modéliser de l'impact sanitaire de la qualité de l'air ambiant pour les différents scénarios.

IV. MATERIEL ET METHODE

Les Méthodes

Une campagne par tubes passifs mise en place, après formation des agents sur l'utilisation des matériels de mesure. Certains capteurs placés en fonction des zones de concertation dont :

Proximité du trafic, dits sites « pic ». (Gouvernorat du District). Selon les critères « de fond » quelques doublets ont été réalisés pour apprécier la reproductibilité de la mesure. Le polluant mesuré était le dioxyde d'azote NO_2 selon les stratégies suivantes :

Campagne de mesures en 2 points pendant quelques mois pour NO_2 , SO_2 , PM_{10} , COV. Les points proposés sont la mairie et un point proche du fleuve (Ministère des Finances) ;

Campagne systématique de mesures dans Bamako pour NO_2 (traceur du trafic).

Le Matériel

Les mesures réalisées :

- Par tubes passifs pour SO_2 , NO_2 et BTX (marque Passam);
- Thermo Andersen ADR-1200S pour les particules :
 - o PM_{10} en temps réel,
 - o Précision de +/- 5% par rapport à méthode standard (gravimétrique);
- DragerPac III E :
 - o Mesure de CO en temps réel,
 - o Enregistrement de 8000 valeurs,
 - o Homologation Demko 02 ATEX 0135331 - EExia IIC T4.

Les appareils de mesures utilisés pour CO et les poussières étaient les suivantes :



Une campagne par tubes passifs a été mise en place du 6 au 14 octobre 2009, après formation de quatre opérateurs.

Une quarantaine de capteurs ont été placés en concertation avec les populations, dont :

- 9 en proximité au trafic, dits sites « pic ».
- 31 selon les critères « de fond » dont deux doublets pour apprécier la reproductibilité de la mesure. Le polluant mesuré était le dioxyde d'azote NO_2 .

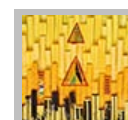
V. RESULTATS ATTENDUS

5.1 La campagne par tubes passifs a permis de recueillir des données indicatives

- des niveaux pour les polluants NO_2 en des sites représentatifs de l'exposition de « fond » à Bamako, sur toute la ville (voir cartographie réalisée à partir de 31 points « fond ») pour la période considérée;
- des niveaux relatifs de ces polluants sur l'ensemble de la ville, qui permettent de hiérarchiser les zones de la ville en fonction de la pollution de fond liée aux émissions des véhicules surtout (au travers de l'indicateur NO_2)
- des niveaux maximums, moyennés sur une semaine, en NO_2 : valeurs mesurées dans les 9 points « pic » qui étaient situés à proximité de carrefours et voies à fort trafic ainsi qu'au niveau des 3 gares routières.

Avec une valeur de $21.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la moyenne des sites de fond respecte, sur la période de mesure, la valeur recommandée par l'OMS fixée à $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle.

Les mesures observées en NO_2 montrent une grande disparité entre niveau de fond et niveau de proximité trafic (ou pic) liée à l'influence du trafic routier : la moyenne des sites de pic est de $44.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ contre $21.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la moyenne des sites de fond.



On notera en particulier les fortes valeurs relevées en quatre points, dans l'ordre croissant des niveaux relevés :

- le rond-point du monument de l'Indépendance – INPS
- la rue Baba Diara – Chambre de commerce
- la gare routière de Médine
- la gare routière de Sogoniko

Les concentrations relevées en ces 4 sites dépassent très largement, sur la période de mesure, la valeur recommandée par l'OMS ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle).

Les résultats mesurés pour l'ensemble des sites de fond sont reportés sur la carte ci-après.

Tableau 1 : Résultats synthétiques de la campagne :

Site de mesure	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
gare routière Medine	57,7
Bd du peuple - Assemblée	40,1
Rue Baba diara - chambre de commerce	49,8
rue modibo Keita - centre Djoliba ou trésorerie	29,2
avant le pont des martyrs - DNE ou INPS	40,5
Pont du roi Fadh - Mémorial Keita	32,9
rond point du monument de l'indépendance - INPS	43,6
Gare routière Dicoroni	20,9
Gare routière Sogoniko	86,2
Moyenne sites "fond"	21,9
Mini sites "fond"	10,2
Maxi sites "fond"	36,3

Pour information : recommandation OMS : $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle

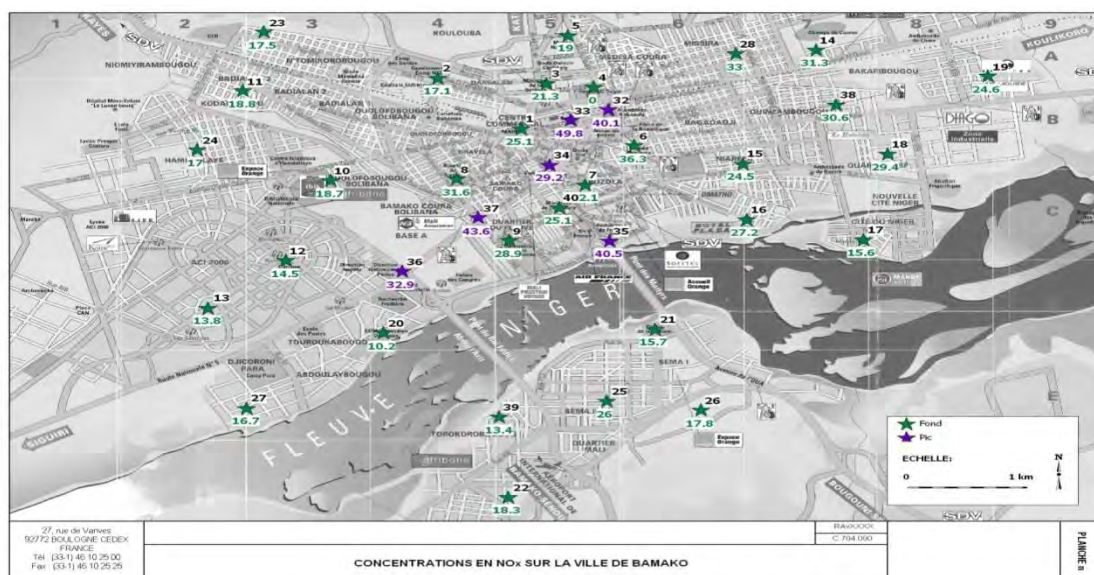


Figure 1 : Représentations des concentrations au niveau des points de mesure « fond » en NO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

L'analyse des données de NO₂ relevées dans le centre de Bamako montre que les concentrations élevées sont principalement associées à des sites de proximité routière.

Cependant certains sites de fond sont associés à des niveaux importants de pollution par le dioxyde d'azote : les concentrations de fond les plus importantes sont relevées au Nord-Est de la ville



alors que les valeurs les plus faibles sont réparties sur la partie Sud-Ouest de Bamako.

Petit rappel sur les oxydes d'azote :

Le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂), coexistent habituellement, le NO s'oxydant spontanément en NO₂. Les rejets en oxydes d'azote ont deux origines essentielles :

- La combinaison de l'azote et de l'oxygène de l'air à des températures supérieures à 1200 °C dans les foyers de combustion et les moteurs,
- La présence d'azote dans les combustibles. Cette teneur est faible dans le gaz et les fuels, plus élevée dans les combustibles solides.

Dans l'air ambiant, le NO₂ est essentiellement issu des sources de combustions automobile, industrielle et thermique tandis que sa présence à l'intérieur des habitations est essentiellement liée à l'utilisation de chauffages utilisant de l'énergie fossile, de cuisinières à gaz ou à bois et à la fumée de tabac.

La toxicité du NO₂, plus importante que le NO, est liée à ses propriétés oxydantes. Gaz irritant, il

pénètre dans les plus fines ramifications des voies respiratoires. Il peut entraîner une altération de la fonction respiratoire et une hyper-réactivité bronchique chez l'asthmatique et, chez l'enfant, augmenter la sensibilité des bronches aux infections microbiennes. La quantification des effets propres à NO₂ lors d'études écologiques temporelles est difficile, du fait principalement de la présence dans l'air d'autres polluants avec lesquels le NO₂ est corrélé.

La cartographie suivante a été obtenue par krigeage ordinaire des mesures de fond en voisinage unique. Elle illustre parfaitement la première analyse présentée sur la page précédente : les concentrations de fond les plus importantes sont relevées essentiellement dans la zone centrale de la ville ainsi qu'e dans la zone de la centrale thermique de Dar es Salam. D'une manière générale pendant la période de mesure de cette campagne, les concentrations en NO₂ se sont révélées faibles. On a pu observer qu'elles ont augmenté en novembre et décembre.

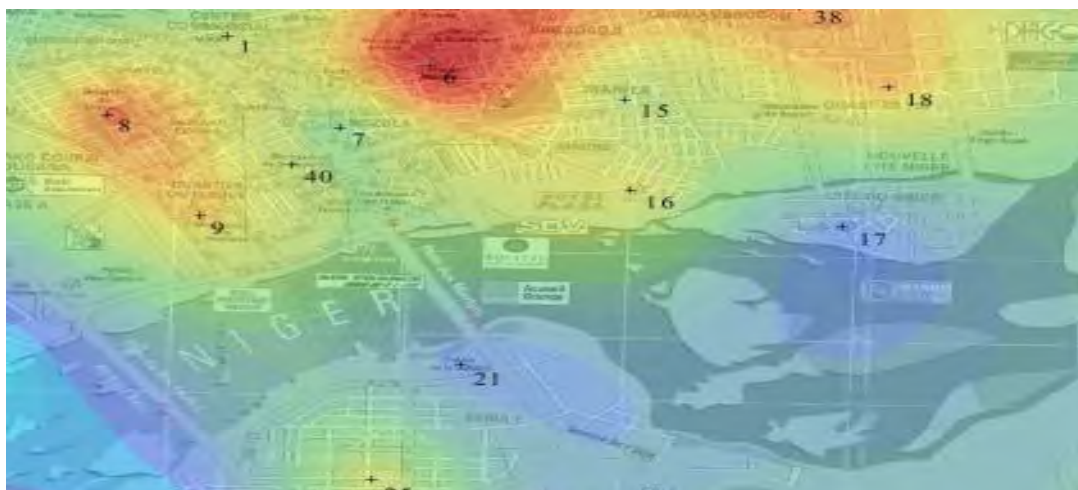


Figure 2 : Cartographie NO₂ lors de la campagne par tubes passifs

5.2. Mesures de poussières PM10

Les mesures en PM10 sur le site de fond « Municipalité » donne les résultats suivants :

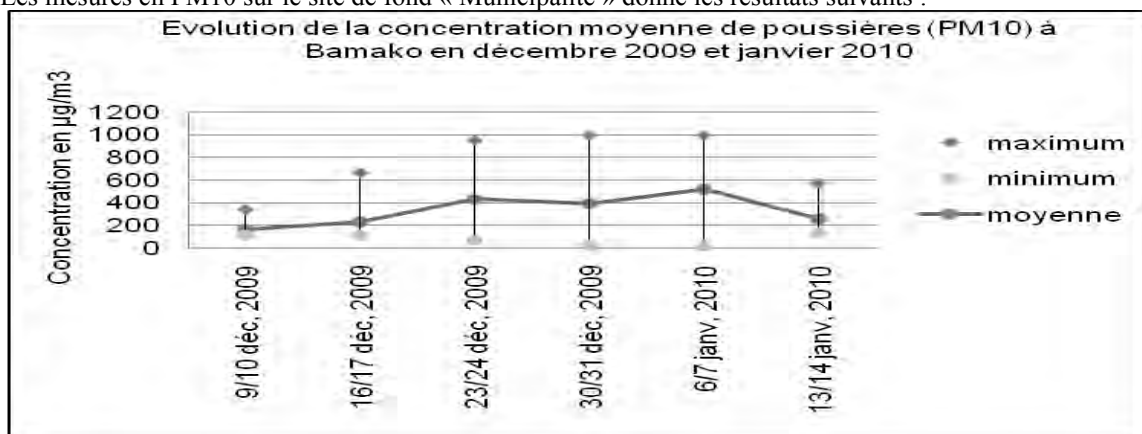
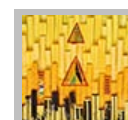


Figure 3: Evolution de la concentration moyenne de poussières PM10 à Bamako en décembre 2009



Les journées du 9/10, 16/17 décembre et 13/14 janvier présentent une moyenne comparable de l'ordre de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les trois autres journées montrent une moyenne en augmentation avec une

valeur de l'ordre de 450 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. On peut noter sur la figure précédente une variation autour de la moyenne qui croît au fil des mesures. Cela se concrétise très nettement sur la figure suivante :

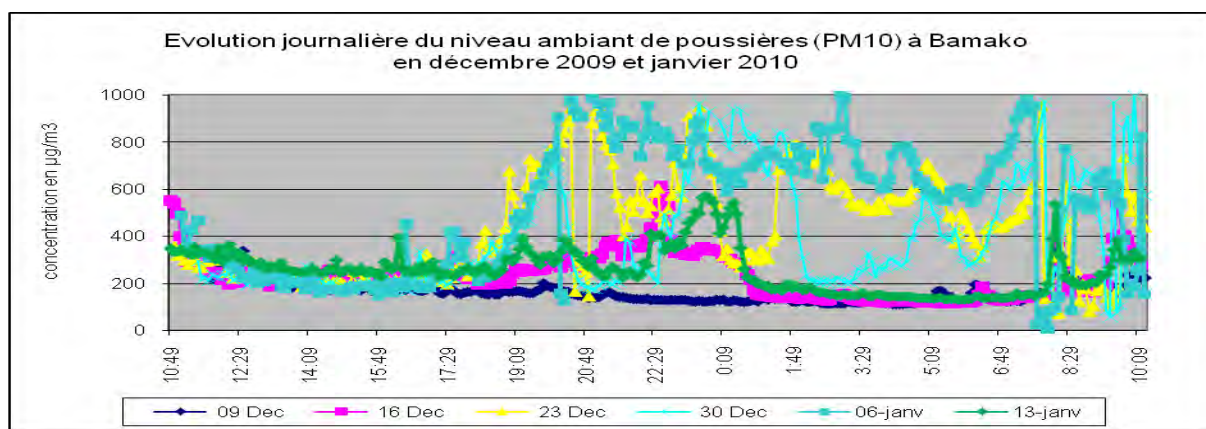


Figure 4 : Mesures des PM10 d'octobre à décembre 2009 à Bamako

L'évolution des données sur une journée de mesure permet d'appréhender le comportement du polluant. Ainsi, à Bamako, on peut remarquer que les niveaux moyens de PM10 en milieu de journée sont globalement constants d'une journée sur l'autre à des niveaux de l'ordre de 200 à 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La mesure réalisée le 9/10 décembre montre un profil très plat où les variations ne sont guère significatives. Les 16/17 décembre et 13/14 janvier, le profil de poussières se distingue de celui du 9/10 décembre par une augmentation du niveau de PM10 en soirée, à partir de 18 heures jusqu'à 1 h du matin le 17 décembre. Les trois mesures suivantes (23/24 et 30/31 décembre et 6/7 janvier) montrent un profil encore différent avec une augmentation toujours

vers 18 heures mais nettement plus importante que celle observée le 16 décembre. Cette augmentation atteint un palier moyen de 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ avec des pics à 996 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mesuré le 30 décembre 2009 et le 6 janvier 2010). On notera néanmoins des variations très importantes visibles en cours de nuit : cela peut être le reflet des variations de vent ou d'activités...

5.3 Mesures de composés organiques volatils COV

Des mesures de COV ont été réalisées à l'aide d'échantillonneurs passifs placés dans le site « Municipalité ». Les échantillonneurs ont été exposés pendant 14 jours et fournissent les résultats suivants après analyse en laboratoire.

Tableau 2 : mesures de COV

Début	Benzène	Toluène	Ethylbenzène	p-Xylène	m-Xylène	o-Xylène
Date/heure	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
14/10/2009 12 :45	10.5	26.7	5	5.5	11.9	5.5
28/10/2009 09 :15	20.5	53.5	10.7	9.8	22.8	10.1
11/11/2009 09 :05	18.2	45.4	8.9	8.6	20.6	8.5

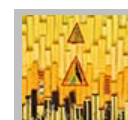
Ces concentrations en COV sont préoccupantes, notamment pour le benzène dont les niveaux dépassent largement, pendant les trois périodes de mesure, la valeur limite définie au niveau européen (5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle). Les émissions des deux roues motorisées sont, en grand partie, responsables de ces niveaux de benzène dans l'air ambiant de Bamako.

5.4 Mesures de monoxyde de carbone CO

Les mesures de CO effectuées en bordure des chaussées et donc du trafic montrent des valeurs instantanées importantes supérieures à 5 ppm soit 5.8 mg/m^3 . Mais elles restent en deçà de la valeur recommandées par l'OMS (100 mg/m^3 en moyenne sur 15 minutes).

Rappelons la règle de conversion suivante : 1 ppm CO = 1.16 mg/m^3 .

Le monoxyde de carbone est un gaz présent majoritairement en sortie d'échappement qui



s'oxyde très rapidement au contact de l'air. Sa concentration décroît donc de façon très rapide dès qu'on s'éloigne des sources d'émissions, à savoir dès qu'on s'éloigne de la voirie.

Rappelons que le monoxyde de carbone présente une forte affinité avec l'hémoglobine du sang : il se fixe à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang, conduisant à un manque d'oxygénation du système nerveux, du cœur et des vaisseaux sanguins. Les effets aigus de l'intoxication par le monoxyde de carbone sont bien établis, se caractérisant tout d'abord par des céphalées, une grande fatigue, des vertiges et des nausées, puis pouvant atteindre des états de somnolence, d'impotence fonctionnelle puis le coma. Incolore et inodore il est encore souvent mortel en air intérieur, dans le cas de matériels de combustion mal entretenus.

En raison de la présence importante de vendeurs ambulants restant sur le bord de la voie à Bamako une bonne partie de la journée, le monoxyde de carbone peut constituer un polluant à surveiller attentivement. On peut en effet supposer que les valeurs instantanées relevées dans les quelques rues de Bamako ayant fait l'objet de mesures, peuvent être relevées à des niveaux comparés tout au long de la journée. De ce fait, la valeur recommandée par l'OMS de 10 mg/m³ en moyenne sur 8 heures pourrait être atteinte et présenter potentiellement un impact sur la santé des vendeurs ambulants.

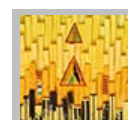
VI. CONCLUSION

Les résultats ont montré des niveaux de concentration inférieurs ou sensiblement égaux aux données du précédent rapport BURGEAP de 2009. La concentration en PM10 relevée indique une zone de dépassement importante par rapport aux valeurs guides de concentration fixées par l'OMS; L'inventaire des émissions atmosphériques sur la ville de Bamako a été réalisé à partir de la collecte des données. Les calculs des émissions sectorielles ont été effectués. Ils indiquent une contribution significative de la combustion résidentielle et du trafic routier au budget global des émissions ; La modélisation a été effectuée via le logiciel ADMS. Les cartes de concentrations indiquent des zones de dépassement des valeurs retenues comme valeurs limites pour les PM10 (sur la quasi- totalité du territoire au nord de l'aéroport), pour le SO₂ (à proximité immédiate des centrales thermiques), pour le CO (sur certaines zones des communes II, IV, et V; L'évaluation des impacts sanitaires a été réalisée à partir des inventaires sanitaires de chacune des communes et des indicateurs IPP. Les pathologies respiratoires représentent la deuxième cause d'admission à l'hôpital et dans les centres de santé après les cas de paludisme suspects ou avérés. En outre, les communes II, IV, et particulièrement la V sont les communes les plus impactées en termes d'impact sanitaire lié à la pollution atmosphérique (sur la base des expositions en PM10 et en NO₂); La

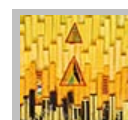
revue documentaire des concentrations dans plusieurs grandes villes Africaines a montré que les concentrations relevées dans le district de Bamako se situe au niveau de la médiane pour l'ensemble des polluants concernés ; Fort de l'ensemble de ces éléments, un principe de plan de surveillance est proposé qui inclut une proposition techno-financière adaptée aux enjeux de la ville de Bamako

BIBLIOGRAPHIE

- AFSSET (2009). Pollution par les particules dans l'air ambiant. Synthèse des éléments sanitaires en vue d'un appui à l'élaboration de seuils d'information et d'alerte du public pour les particules dans l'air ambiant. Rapport d'expertise collective, 96 p. + annexes. URL : <http://www.afsset.fr/index.php>
- AIR-APS (2011). Suivi des polluants réglementés dans la vallée de l'Arve, 43 p. Rapport en ligne : <http://www.air-rhonealpes.fr/>
- AIRPARIF (2008). Les différents polluants et leur évolution. Récupéré du site <http://www.airparif.asso.fr/pollution/differents-polluants>
- Amegah K. A. et Agyei-Mensah S. (2017). Urban air pollution in Sub-Saharan Africa: Time for action. *Environmental Pollution*, 220, 738- 743.
- APPA (Association Pour la Protection de l'Air) (2012). « Pollution par les particules, impact sur la santé, l'air et le climat », Numéro spécial, 231 p. <http://www.appa.asso.fr/national/Pages/article.php?art=754>
- Aymoz, G., Jaffrezo, J.L., Chapuis, D. et al. (2007). Seasonal variation of PM10 main constituents in two valleys of the French Alps. 1: EC/OC fractions, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 661-75.
- Bauer, S. E., Im, U., Mezuman, K., & Gao, C. Y. (2019). Desert dust, industrialization, and agricultural fires: Health impacts of outdoor air pollution in Africa. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124, 4104– 4120.
- Bell, M.-L. & Davis, D.L. (2001). Reassessment of the lethal London fog of 1952: novel indicators of acute and chronic consequences of acute exposure to air pollution. *Environ Health Perspect*, 109, 389-94.
- Belleudi, V., Faustini, A., Stafoggia, M., Cattani, G., Marconi, A., Perucci, C.A. et al. (2010). Impact of fine and ultrafine particles on emergency hospital admissions for cardiac and respiratory diseases. *Epidemiology*, 21(3), 414-23.
- Brunekeerf, B. & Holgate, S.T. (2002). Air pollution and Health. *The Lancet*, 360, 1233- 1242.
- Chambers, L.A. (1968). Classification and extent of air pollution problems. In A.C. STERN - Air Pollution, New York: Academic Press, 1-21.
- Dab, W., Ségala, C., Dor, F., Festy, B., Lameloise, P., Le Moullec, Y. et al. (2001). Air pollution and health : correlation or causality? The case of the relationship between exposure to particules and



- cardiopulmonary mortality. *J. Air Waste Manag Assoc*, 51, 220-35.
- Dahech, S., Daoud, A. & Beltrando, G. (2011). Les inégalités spatiales de la qualité de l'air dans l'agglomération de Sfax et ses environs : Le cas des températures, de la brise, du CO et SO₂. *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Environnement, Nature,
- Delaunay, C., Goupil, G., Ravelomanantsoa, H., Person, A., Mazoue, S. & Moranwski, F. (2010). Évaluation de l'exposition des citoyens aux polluants atmosphériques au cours de leurs déplacements dans l'agglomération parisienne.
- Doumbia et al. (2013). Physico-chemical characterization of urban atmospheric pollution in West Africa and health impact study. Thèse de doctorat. Université de Toulouse.
- Duché, S. (2013). *La pollution de l'air en région parisienne : exposition et perception sur les sites touristiques*, Thèse de Doctorat de l'Université de Paris-Diderot, juin, 227 p. + annexes.
- Englert, N. (2004). Fines particles and human health - a review of epidemiological studies. *Toxicol Lett*, 149, 235-42.
- Filleul, L., Medina, S. & Cassadou, S. (2003). La pollution atmosphérique particulaire urbaine : de l'épidémiologie à l'impact sanitaire en santé publique. *Rev. Epidemiol. de Santé Publique*, 51, 527-42.
- INSEE (2010). *La pollution de l'air par les transports*. Récupéré sur le site : <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/361/1228/pollution-lair-transports.html>
- Kelly, F.J. & Fussell, I. (2012). Size, source and chemical composition as determinants of toxicity attributable to ambient particulate matter. *Atmospheric Environment*, 60, 504-526.
- Khlaifi, A., Dahech, S. & Beltrando, G. (2008). Study of the SO₂ dispersion with the Gaussian model according to the atmospheric circulation in a coastal city : Sfax (Tunisia). *Meteorol. Appl.*, 15 (4), 513-522.
- Kim, C.S. & Kang, T.C. (1997). Comparative measurement of lung deposition of inhaled fine particles in normal subjects and patients with obstructive airway disease. *Am J respir Crit Care Med*, 15, 899-905.
- Lave, L.B. & Seskin, E.P. (1970). Air pollution and Human Health, *Sciences*, 169, 723-733.
- Mauderly, J.L. & Chow, J.C. (2008). Health effects of organic aerosols. *Inhal Toxicol.* 20 (3), 257-88.
- Michelot N. (2014). L'influence des topoclimats sur la pollution de l'air aux particules dans le sud-ouest des Alpes Maritimes. Thèse de Doctorat de l'Université de Nice Sophia-Antipolis, 357 p.
- Nemery, B., Hoet, P.H. & Nemmar, A. (2001). The Meuse Valley fog of 1930 : an air pollution disaster. *Lancet*, 357, 704-708.
- Nerhagen, L., Bergström, R., Forsberg, B., Johansson, C. & Eneroth, C. (2008). The mortality cost of particulate matter due to emissions in the Stockholm area— an investigation into harmfulness, sources and the geographical dimension of their impact. VTI rapport 635A, 36 p. Rapports du VTI (Suède). Consulté sur le site www.vti.se/sv/publikationer/pdf/
- Pascal, M. & Medina, S. (2012). Résumé des résultats du projet Aphekom 2008-2011. Des clefs pour mieux comprendre les impacts de la pollution atmosphérique urbaine sur la santé en Europe. Saint-Maurice : Institut National de Veille Sanitaire. 6 p. Récupéré du site : <http://www.invs.sante.fr>
- Pope, C.A. & Dockery, D.W. (2006). Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *J. Air Waste Manag Assoc.* 56, 709-42.
- Rapport BURGEAP (2009), Etude de la qualité de l'air à Bamako.
- Rückerl, R., Schneider, A., Breitner, S., Cyrys, J. & Peters A. (2011). Health effects of particulate air pollution: A review of epidemiological evidence. *Inhal Toxicol.*, 23 (10), 555-92.
- Woolcock, A.J. & Peat, J.K., (1997). Evidence for the increase in asthma worldwide. *Ciba Found Symp*, 206, 122-134.



Effets de la fertilité du sol sur la durée de vie des plans d'igname à maturité

Abdoulaye DIAMOUTENE

Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou

Adresse e-mail du correspondant : diamouablo@yahoo.fr

RESUME: L'igname à pattes d'éléphant est une espèce d'igname beaucoup prisée en Afrique subsaharienne et en Inde. Du fait de sa grande utilisation dans la base alimentaire des populations en Afrique et en Asie, toute étude concernant cette espèce d'igname s'avère importante pour la communauté scientifique. La maîtrise des paramètres ayant un impact sur la durée de vie des plants d'igname à maturité peut permettre de gérer les aspects de conservation et d'approvisionnement du marché afin que les producteurs aient de meilleurs profits. Dans cette optique, nous analysons et modélisons la durée de vie des plants d'igname à maturité à partir des données d'une expérimentation effectuée sur cinq différentes parcelles par un institut indien. La loi de probabilité représentant au mieux ces durées de vie à maturité des plants d'igname est celle de Weibull. Nous avons montré que la fertilité du sol a un impact sur la durée de vie des plants d'igname en effectuant une analyse de la variance à un facteur. Cependant les conditions d'application de l'analyse de la variance n'étant pas satisfaites, nous utilisons la transformation de Box-cox pour se rapprocher au mieux de la normalité et de l'homogénéité de la variance. Les analyses statistiques ont été faites avec le logiciel statistique R. En outre, nous avons utilisé la fonction de hasard avec la loi de Weibull à deux paramètres pour examiner la période optimale de récolte et d'approvisionnement du marché afin de maximiser les profits des cultivateurs. Une telle approche d'analyse peut être adoptée pour des situations similaires dans la production et l'approvisionnement du marché pour d'autres produits de la même catégorie.

Mots clés : Igname à pattes d'éléphant, fertilité, analyse de la variance, modèle de Weibull, taux de hasard.

I. INTRODUCTION

L'igname est un tubercule beaucoup prisée en Afrique subsaharienne et en Asie ; on distingue plusieurs espèces d'igname. Ici, nous nous intéressons à l'igname à pattes d'éléphant dont le nom scientifique est « *Amorphophallus paeoniifolius* ». C'est une tubercule tropicale cultivée principalement en Afrique et en Asie ; elle est la base de l'alimentation de nombreuses populations et est aussi utilisée dans la médecine en Inde d'où l'intérêt des études liées à cette espèce d'igname. C'est ainsi que [3] travaillent sur une technique de fertilisation par irrigation sur des plants d'igname à pattes d'éléphant pour évaluer la croissance sous fertilisation. Quant à [4], ils conduisent une expérimentation pour déterminer les effets de la fertilisation par irrigation sur la productivité et la qualité de l'igname à pattes d'éléphant. Concernant [5], ils mènent une étude de l'effet de la fertilité sur le potentiel de productivité de l'igname à pattes d'éléphant sur des types de sols argileux ; dans cette étude, ils montrent que l'utilisation de fertilisant et le type de sol argileux a un impact considérable sur la productivité. Dans notre étude, nous nous intéressons à l'effet de la fertilité du sol sur la durée de vie des plants d'igname à pattes d'éléphant à maturité. Nous utilisons l'ANOVA à un facteur pour évaluer l'effet de la fertilité sur la durée de vie des plants d'igname. Cependant, la loi des données ne satisfait pas les hypothèses de base de l'ANOVA ; c'est dans cette optique que [1] s'intéresse à

l'impact de la loi de Weibull sur la performance de l'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur ; ils montrent que le paramètre de forme a un effet significatif sur l'orientation de l'ANOVA, tandis que celui du paramètre d'échelle n'est pas significatif. Lorsque la loi des données est celle de Weibull, [6] propose la transformation de Box-cox afin de se rapprocher au mieux des hypothèses de normalité et d'homogénéité de la variance requises par l'ANOVA.

D'autre part, à l'aide de la fonction de hasard associée à la loi des données, nous établissons une relation entre approvisionnement et la période idéale de la récolte. En effet, lorsque le sol a des aptitudes de conservation à la maturité des plants cela peut permettre aux producteurs de bénéficier de prix favorables en fin de saison.

L'article est organisé comme suit, dans la section (2), nous présentons la méthodologie et les outils utilisés pour la modélisation des données de plants d'igname. La section (2) est suivie de la présentation des résultats et l'article est terminé par une conclusion illustrant les résultats obtenus et les perspectives.

II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 Caractéristiques des parcelles d'expérimentation et nombre de plants d'igname à maturité

Les données utilisées proviennent d'une expérimentation menée dans un institut indien sur cinq parcelles de niveau de fertilités différentes avec



initialement une centaine de plants d'igname par parcelle d'expérimentation.

- **Expérimentation 1**

L'expérimentation est conduite sur une parcelle à fertilité modérée avec plusieurs années de culture. Les cents plants sont tous arrivés à maturité.

- **Expérimentation 2**

L'expérimentation est conduite sur une parcelle fertile. 96 plants sont arrivés à maturité sur les 100.

- **Expérimentation 3**

L'expérimentation est conduite sur une parcelle composée de grands arbres avec des zones ombragées ; il y a aussi un manque de soleil avec des gouttelettes de pluie. Les cents plants sont tous arrivés à maturité.

- **Expérimentation 4**

L'expérimentation est conduite sur une parcelle non fertile et utilisée pour la première pour la culture de l'igname. Les cents plants sont tous arrivés à maturité.

- **Expérimentation 5**

L'expérimentation est conduite sur une parcelle fertile avec des semences de poids supérieures aux autres expérimentations. 94 plants sont arrivés à maturité sur les 100.

2.2 Statistique descriptive et lois des données

2.2.1 Lois des données

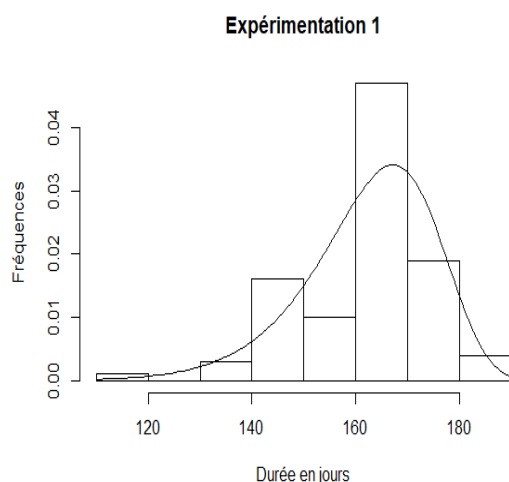


Figure 1. Loi des données expérimentation 1

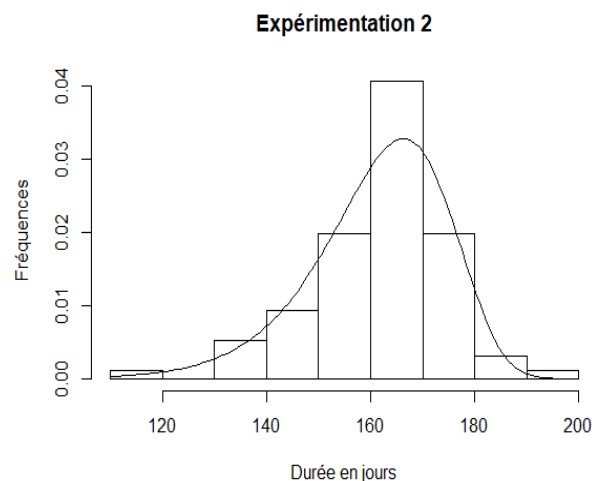


FIGURE 2. Loi des données expérimentation 2

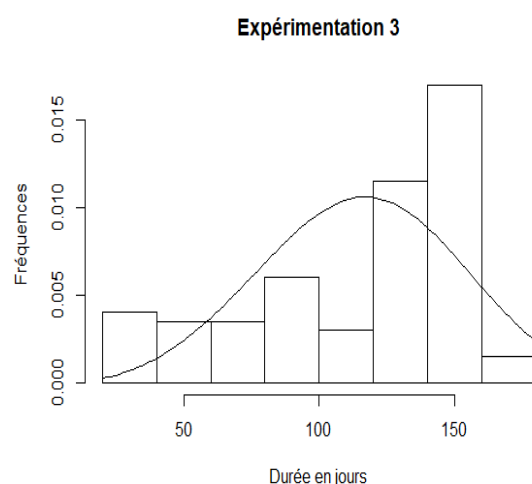


Figure 3. Loi des données expérimentation 3

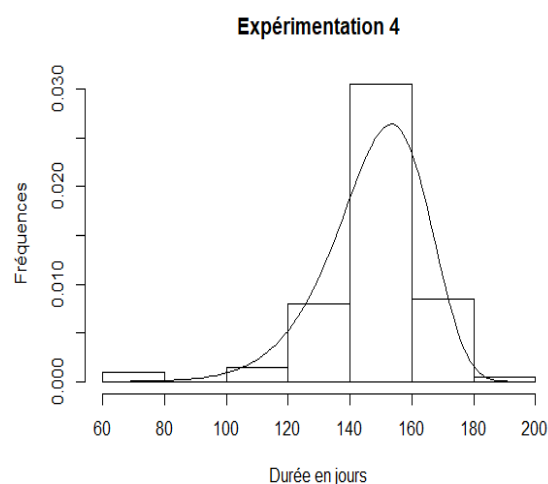


Figure 4. Loi des données expérimentation 4



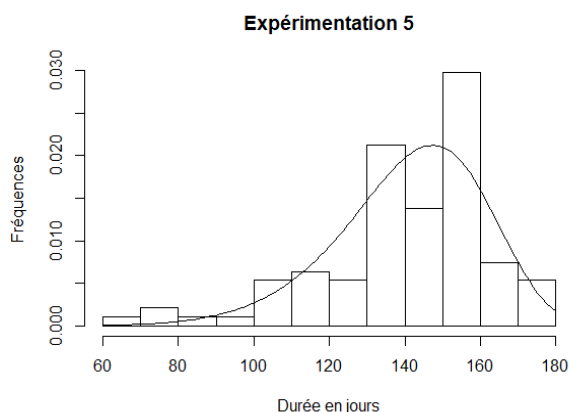


Figure 5. Loi des données expérimentation 5

Les courbes de densité et d'histogramme des figures (1), (2), (3), (4) et (5) montrent que les données de chacune des cinq expérimentations suivent approximativement une loi de Weibull.

2.2.2 Statistique descriptive

Tableau 1. Description des données

Expérimentation	Durée de vie			nombre de plants
	minimum	maximum	moyenn	
1	112	190	162,6	100
2	111	193	161,5	96
3	32	168	115,6	100
4	74	192	148,2	100
5	67	178	140,9	94

Le tableau (1) résume les statistiques descriptives des données de durées de vie des plants d'igname. Il faut noter que la loi des données étant approximativement celle de Weibull, la moyenne n'est pas assez pertinente dans l'interprétation ; de ce fait, nous nous intéressons à la durée minimale et maximale de vie des plants d'igname.

On remarque que pour les expérimentations 1 et 2, les durées de vie minimale et maximales sont assez élevées par rapport aux autres expérimentations ; ceci pourrait s'expliquer par le niveau de fertilité des sols et donner une large marge de récolte en tenant compte de la loi du marché. Dans l'expérimentation 3, on a les plus faibles durées de vie minimale et maximale, ce qui peut s'expliquer par les rudes conditions météorologiques et environnementales qui ont un effet négatif sur la fertilité du sol. Concernant l'expérimentation 4, le sol n'est pas fertile mais est utilisé pour la première fois pour la culture de l'igname ; la durée de vie minimale est largement inférieure à celles des expérimentations 1 et 2 où les sols sont fertiles, cependant les durées de vie des plants d'igname dans l'expérimentation 4 est proche des expérimentations 1 et 2. Quant à l'expé-

rimentation 5, les semences utilisées avaient un poids supérieur à ceux des quatre autres expérimentations et malgré la fertilité du sol il n'y a pas eu un impact significatif sur les durées de vie minimale et maximale des plants d'igname.

2.3 Estimation des paramètres et fonction de hasard

2.3.1 Estimation des paramètres

Dans l'estimation des paramètres, nous utilisons la méthode du maximum de vraisemblance implémentée dans le logiciel R à travers le paquetage « fitdistrplus » du logiciel R et la loi de Weibull à deux paramètres donnée par

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\sigma}\right)^\alpha\right], \alpha > 0, x > 0 \quad (1)$$

où α est le paramètre de forme et σ est le paramètre d'échelle. Les estimations des paramètres sont dans le tableau (2).

Tableau 2. Valeurs des paramètres estimées

Expérience	Paramètre de forme	Paramètre d'échelle
1	15,54	167,98
2	14,86	167,08
3	3,55	128,58
4	11,07	154,70
5	8,56	149,44

2.3.2 Fonction de hasard

La fonction de hasard est définie par

$$h(t) = \frac{f(t)}{1-F(t)} \quad (2)$$

où f est la fonction de densité et F la fonction de répartition.

Pour une loi de Weibull, la fonction de hasard est donnée par

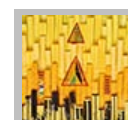
$$h(t) = \left(\frac{\alpha}{\sigma}\right) \left(\frac{t}{\sigma}\right)^{\alpha-1} \quad (3)$$

où α est le paramètre de forme et σ est le paramètre d'échelle. En général, une grande valeur du paramètre de forme α pour une fonction de hasard indique un biais négatif dans la loi et une grande valeur du paramètre d'échelle σ indique la vitesse de la variable. Il faut aussi rappeler que lorsque le paramètre de forme α est supérieur à 1, la fonction de hasard indique l'accentuation du phénomène étudié.

III. RÉSULTATS

3.1 Effet de la fertilité du sol sur la durée de vie des plants d'igname à maturité

Pour l'étude de l'effet de la fertilité du sol sur la durée de vie des plants d'igname à maturité nous utilisons l'analyse de la variance à un facteur.



Cependant la loi des données étant approximativement celle de Weibull, le test de normalité n'a pas de sens et on a une p-valeur égale à $4.62.10^{-43}$ pour l'homogénéité de la variance. Tout ceci montre que les hypothèses de normalité et d'homogénéité des variances ne sont pas vérifiées. Ainsi, nous utilisons la transformation de box-cox pour transformer les données afin de se rapprocher au mieux des conditions requises, voir [6], [1], [2]. Après la transformation des données, au seuil $\alpha = 0.01$, les hypothèses de normalité ne sont pas vérifiées pour les données des expérimentations 3 et 4, voir le tableau (3) ; mais les variances sont homogènes avec une p-valeur égale à 0.016.

Tableau 3. Test de normalité des données transformées

Expérimentation	p-valeur	Normalité
1	$1.15.10^{-2}$	acceptée
2	$5.25.10^{-1}$	acceptée
3	$1.11.10^{-5}$	rejetée
4	$3.27.10^{-4}$	rejetée
5	$3.18.10^{-1}$	acceptée

Le tableau (4) représente celui de l'analyse de la variance.

Tableau 4. Tableau de l'analyse de la variance, $\alpha = 0.01$

Source	Degrés de liberté	statistique F	p-valeur	Résultat
Facteur	4	79,79506	$5.4.10^{-52}$	les différences sont statistiquement significatives
Résidu	485			

Il ressort du tableau (4) que la fertilité du sol a un effet significatif sur la durée de vie des plants d'igname à maturité. Il serait donc intéressant de caractériser ce effet par rapport au niveau de fertilité et de voir l'éventuel lien entre la durée de vie des plants d'igname à maturité, la récolte et l'approvisionnement du marché. A cet effet, nous utilisons la fonction de hasard associée à la loi de Weibull.

3.2 Fonction de hasard et approvisionnement du marché

La fonction de hasard associée aux durées de vie des plants d'igname à maturité obtenue à partir des données d'expérimentation peut être utilisée comme outil d'aide à la décision dans la détermination des périodes optimales d'approvisionnement et récolte en fonction du temps. Il peut aussi être interprété comme le taux auquel la récolte est acheminée depuis le champ au marché. De ce fait, le taux de

récolte a un impact sur le niveau du prix basé sur la théorie de l'offre et de la demande.

Ici, dans notre contexte, une grande valeur du paramètre d'échelle σ indique les différents plants d'igname survivent pour différentes durées de vie et l'approvisionnement du marché est assez rapide avec le temps ; en ce qui concerne le paramètre de forme α , lorsqu'il est grand, il illustre la présence de cluster tendant à mettre en évidence le pic du marché et la fin de la saison. En utilisant la formule (3) et le tableau (2), on obtient les fonctions de hasard associées aux données des cinq expérimentations. Ainsi, on obtient les courbes sur la figure (6).

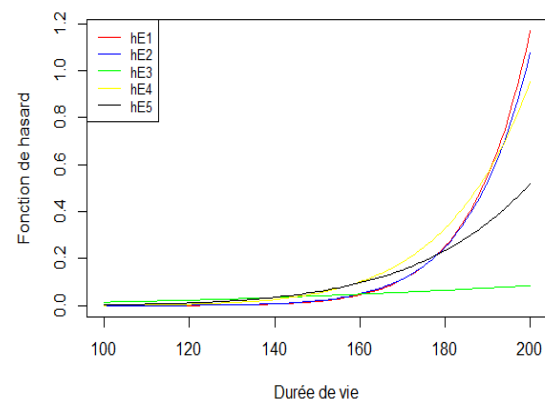
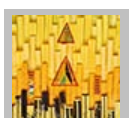


Figure 6. Fonction de hasard de Weibull

La figure (6) illustre les fonctions de hasard associées aux différentes expérimentations selon le niveau de fertilité du sol. Au delà de 178 jours, on remarque que les fonctions de hasard associées aux données des expérimentations 1 et 2 sont largement au dessus des autres, ce qui confirme les résultats précédents par rapport à l'influence de la fertilité et la rotation des cultures. En ce qui concerne la récolte et l'approvisionnement du marché, le taux de hasard élevé peut être associé à la fin de la saison où les productions se font rares et de bons prix sont proposés. Ainsi, l'aptitude des sols à conserver les tubercules d'igname à maturité pendant longtemps peut être un paramètre important dans la sélection des types de sol pour les cultures. Par exemple, pour les expérimentations 1, 2 et 4 la période optimale de récolte et d'approvisionnement est entre le 178^{ème} et 193^{ème} jours.

IV. CONCLUSION

L'igname à pattes d'éléphant est une espèce d'igname très prisée en Asie, particulièrement en Inde ; de ce fait beaucoup d'études sont réalisées sur cette espèce afin de mieux maîtriser les paramètres influant sur sa culture. Ici, nous avons utilisé les données d'une expérimentation effectuée sur cinq sites d'expérimentation avec différents niveaux de fertilité. L'analyse de la fertilité s'est effectuée avec l'analyse de la variance à un facteur ; cependant la loi suivie par les données est



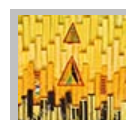
approximativement celle de Weibull ; ainsi, les hypothèses de normalité et d'homogénéité ne sont pas vérifiées. Pour pallier à cette insuffisance, nous utilisons la transformation de Box-Cox pour se rapprocher au mieux des hypothèses de validité de l'analyse de la variance. Malgré les transformations, les données des expérimentations 3 et 4 ne sont pas normalisées ; tandis que l'homogénéité de la variance est acquise. Il ressort de cette analyse que la fertilité du sol a effectivement une influence sur la durée de vie des plants d'igname. Pour les expérimentations 1, 2 et 4, la durée de vie maximale varie entre 190 et 193 jours ; tandis que pour l'expérimentation 3, on remarque que les conditions environnementales et météorologiques influents considérablement sur la fertilité du sol et par conséquent sur la durée de vie des plants d'igname, 168 jours ; ce type de sol n'est donc pas être propice à la culture de cette espèce d'igname. Il faut aussi noter qu'à niveau de fertilité égale le poids élevé des semences n'influe pas sur la durée de vie des plants d'igname à maturité, ce qui est le cas dans l'expérimentation 5. En outre, nous avons utilisé la fonction de hasard de Weibull pour prédire les périodes optimales de récolte et d'approvisionnement du marché. Une perspective de ce travail est de développer une approche visant à utiliser la théorie des valeurs extrêmes, notamment l'approche du « Peaks Over Threshold » pour déterminer la durée de vie optimale des plants d'igname afin de caractériser les observations au-dessus du seuil optimal. Les résultats de cette étude peuvent être utilisés pour la vulgarisation de la culture de l'igname à pattes d'éléphant au Mali.

RÉFÉRENCES

- G. BLACK, D. ARD, J. SMITH et T. SCHIBIK : The impact of the weibull distribution on the performance of the single-factor anova model. *International journal of Industrial Engineering Computations*, 1:185–190, 2010.
- D. KARAGOZ : Modified welch test statistic for anova under weibull distribution. *Haceteppe Journal of Mathematics and Statistics*, 45(2):561–573, 2016.
- M. NEDUNCHEZHIAN, G. BYJU, V. RAVI et J. GEORGE : Spacio-temporal fertigation effects on growth, yield and nutrient use efficiency of elephant foot yam. *American- Eurasian J. Agric. Environ. Sci*, 17(1):63–77, 2017.
- N. NEDUNCHEZHIAN, G. BYJU, V. RAVI et J. GEORGE : Effet of fertigation schedule on production potential quality and nutrient uptake of elephant foot yam. *Current Horticulture*, 6(1):19–26, 2018.
- B. SAHOO, M. NEDUNCHEZHIAN et P. ACHARYYA : Productivity potential of elephant foot yam in alfisols as influenced fertility levels. *An International Quarterly Journal Life Sciences*, 10(3):1255–1257, 2017.
- L. WATTHANACHEEWAKUL : Analysis of variance with weibull data. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, 3, 2010.



**SCIENCES FONDAMENTALES :
MATHEMATIQUES, PHYSIQUE ET CHIMIE /
MATHEMATICS, PHYSICAL AND CHEMISTRY**



Études des catalyseurs à base de cobalt par microscopie électronique en transmission *in-situ* environnementale

Kassiogé Dembélé¹, Mounib Bahri², Sylvie Maury³, Anne-Sophie Gay³ et Ovidiu Ersen²

¹Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft,

²Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg

³Institut Français de Pétrole Energies nouvelles

Email : kdembele@fhi-berlin.mpg.de

RESUME : Nous avons étudié des catalyseurs à base de cobalt utilisés pour la synthèse Fischer-Tropsch des hydrocarbures en suivant les processus d'activation, de fonctionnement et de désactivation par microscopie électronique en transmission (MET) *in-situ* environnementale. Une méthodologie a été développée en couplant des études structurales dans une cellule environnementale à la mesure de gaz résiduels par spectrométrie de masse : il s'agit du MET *operando*. En utilisant des nano-objets de morphologie contrôlée, nous avons mis en évidence des mécanismes de désactivation des catalyseurs par frittage des particules, ré-oxydation, encapsulation et carburation. Pour les catalyseurs de particules de cobalt supportés, leur activation se distingue par une densification des particules. Nous avons démontré que la réduction des particules est plus facile sur support de silice que sur alumine ainsi qu'en présence des atomes de Pt. Durant leur fonctionnement sous gaz de synthèse, nous avons détecté la formation d'hydrocarbures. Cette méthodologie a donné accès aux propriétés physico-chimiques d'une série de catalyseurs de cobalt, ouvrant ainsi la voie à des études approfondies de catalyseurs hétérogènes par microscopie *operando*.

Mots clés : Microscopie électronique en transmission, *in situ*, environnemental, *operando*, catalyseurs, Synthèse Fischer-Tropsch

I. INTRODUCTION

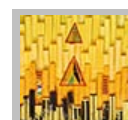
Inventé par Ernst Ruska (prix Nobel de physique en 1986) et Max Knoll en 1932 [1], le microscope électronique en transmission (MET) a permis d'observer pour la première fois des objets à l'échelle nanométrique. Depuis, cet outil de pointe a bénéficié de nombreuses améliorations technologiques, qui permettent d'obtenir des informations sur la morphologie, la structure et la composition chimique d'échantillons issus des différents disciplines (matériaux, biologie...). Un de ces progrès majeurs concerne le développement du MET en mode dit « environnemental ». Ce dernier permet d'étudier *in situ* – dans la colonne du microscope – les échantillons en milieu gazeux ou liquide en températures et pressions, alors que les MET conventionnels imposent un vide poussé (<10⁻⁵ Pa) dans la colonne. Dans un premier temps, les échantillons ont été étudiés sous faible pression de gaz de quelques dizaines de mbar. [2–4] Plus récemment, des cellules dites « environnementales » ont été développées qui permettent d'étudier des échantillons dans un environnement gazeux jusqu'à 1-4 bar. [5,6]. Dans ce contexte, ce travail concerne le développement d'une approche d'étude des catalyseurs par microscopie en mode *operando*. Puis, nous utiliserons cette approche d'étude pour comprendre l'influence des caractéristiques de catalyseurs à base de cobalt, utilisés pour la réaction de Fischer-Tropsch (SFT). Cette dernière

permet d'obtenir des hydrocarbures lourds de haute qualité à partir de gaz de synthèse (ou syngas), H₂ et CO, issus de la valorisation du gaz naturel, du charbon ou de la gazéification de la biomasse. [8–12] Ce procédé constitue donc une véritable alternative aux procédés de raffinage permettant d'obtenir des carburants à partir du pétrole.

II. MATERIELS ET METHODES

2.1 Matériels

Pour étudier les catalyseurs, nous avons utilisé un microscope commercialisé par la compagnie japonaise JEOL (Japan Electron Optics Laboratory Company) et fonctionnant à une tension de 200 kV : JEOL 2100F. Ce microscope est équipé de plusieurs accessoires : un canon FEG (Field Emission Gun); un correcteur de sonde électronique permettant d'obtenir des images avec une résolution atomique en mode balayage MET (STEM) ; un détecteur annulaire à grand-angle (HAADF detector) afin d'obtenir un fort contraste dans les images STEM champ-sombre ; une caméra CCD (US1000@XP) permettant l'acquisition d'images de haute qualité et le suivi, *in situ*, en mode vidéo des modifications de l'objet à des vitesses allant jusqu'à 30 images/s. La cartographie chimique des objets peut être étudiée grâce à un spectromètre de pertes d'énergie des électrons (EELS) ou un spectromètre de détection des rayons X émis par l'échantillon (EDS).



En plus, pour étudier les modifications des catalyseurs en fonctionnement sous gaz, par microscopie *in situ*, nous avons utilisé un système de cellule environnementale fermée appelé « Atmosphere 200 », commercialisé par la société Protochips®.[7] Ce système est constitué principalement de deux parties: (1) un porte-objet comportant la cellule environnementale, piloté par un logiciel dédié, et dans laquelle les catalyseurs étudiés peuvent être chauffés et soumis à un gaz; (2) un collecteur de gaz permettant de contrôler le gaz d'intérêt dans la cellule.

Enfin, nous avons utilisé un mélangeur de gaz permettant d'étudier les modifications des catalyseurs sous différents types de gaz, et un analyseur de gaz résiduel – équipé d'un spectromètre de masse – afin de suivre les produits de réactions.

2.2 Methodes

Des catalyseurs à base de nanoparticules de cobalt sur différents types de support (alumine, silice, mélange alumine-silice) ont été étudiés. Tout d'abord, nous avons optimisé la quantité de catalyseur à déposer dans la cellule environnementale. Ainsi, 16 mg de poudre des catalyseurs broyés ont été mis en suspension dans 10 mL d'éthanol pur puis dispersés sous ultrasons pendant 5 min. Ensuite, nous avons déposé successivement 3 microgouttes d'1 µL de ces suspensions de catalyseurs sur la membrane de la cellule environnementale. Après évaporation de l'éthanol et estimation de la perte de masse de catalyseurs se trouvant en dehors de la zone de réaction de la cellule, ceci reviendrait à un dépôt effectif d'environ 3,5 µg de catalyseur.

Pour les études MET *in-situ*, la cellule environnementale gaz ainsi que l'ensemble du système « Atmosphere » sont purgés trois fois en utilisant 4104 Pa de gaz inerte d'argon. Ceci permet d'éliminer toute pollution potentielle (par exemple la présence d'air dans la cellule durant l'assemblage). Puis, des échantillons sont (identifiés) sous flux d'argon à 200°C afin d'éviter toute contamination dans la cellule, avant le suivi durant la réduction et le fonctionnement sous syngas. Ensuite, les nanoparticules d'oxyde de cobalt sont réduites en cobalt métallique sous une atmosphère pure dihydrogène à 430 °C : il s'agit de leur activation. Une dernière étape a consisté à exposer le catalyseur activé à un mélange atmosphérique de gaz CO-H₂ à 220 °C. Durant toutes ces étapes, plusieurs régions sont suivies, ce qui assure ainsi une représentativité des résultats obtenus. À la fin de chaque traitement, des régions non initialement exposées sous faisceau sont imagées afin de mieux connaître l'influence de ce dernier sur l'évolution de l'échantillon.

Durant les différents traitements sous gaz, nous avons suivi les réactifs et les produits de réaction grâce à l'analyseur de gaz résiduel. D'abord, nous avons calibré le spectromètre de masse en utilisant l'argon en tant que gaz de référence. Puis, nous avons sélectionné les masses ioniques principales et secondaires des différents gaz utilisés (Ar, H₂, CO) et des produits de réaction attendus. Nous avons choisi de suivre chaque masse ionique avec une résolution temporelle de 500 ms. Cette résolution est suffisante pour détecter des variations rapides de courants ioniques, possiblement dues à une formation d'hydrocarbures.

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Activation du catalyseur

La Figure 1 présente une région typique du catalyseur de référence observé initialement sous gaz inerte d'argon (a) et après 11 min à 430°C sous dihydrogène (b). Des agrégats de particules de taille 20-40 nm avec une structure poreuse sont initialement observés sous Ar. Puis, sous H₂, d'importantes modifications s'ensuivent : une augmentation du contraste entre les particules et le support ; la diffusion des particules à la surface du support ; la disparition de la structure poreuse et la fragmentation dans les agrégats de particules ; le changement de la morphologie des particules avec la formation de particules sphériques elliptiques et/ou facettées. Ces phénomènes sont visiblement accentués lorsque les images sous Ar et H₂ sont respectivement colorisées en rouge et en vert puis additionnées (Figure 1c). Dans l'image issue de la fusion des deux traitements, les zones apparues en jaune représentent celles pour lesquelles les particules de cobalt n'ont pas évolué.

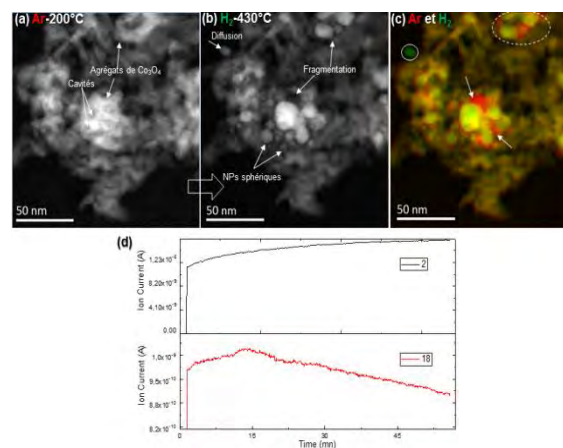


Figure 1 Images STEM-HAADF du suivi *in-situ* de l'évolution du catalyseur Co-Pt/Al₂O₃-SiO₂-16nm sous Ar à 200°C (a) et après 11min sous H₂ à 430°C (b). Addition des images enregistrées sous Ar (coloriée en rouge) et sous H₂ (coloriée en vert) (c). Suivi par spectrométrie de masse (d) du réactif H₂ ($m/z=2$) et de l'eau ($m/z=18$).



Certains éléments présentés ci-dessus (disparition de la structure poreuse et fragmentation des agrégats de particules, changement de morphologie des particules) sont des caractéristiques générales, représentatifs de la réduction. Cependant, la plupart pourrait être la conséquence d'un seul et même phénomène qui est la densification des nanoparticules.

Notons que la réduction des particules de Co_3O_4 conduit à la formation d'eau, ce qui peut être suivi en temps réel grâce au couplage avec la spectrométrie de masse (Figure 1d) ; la formation et l'élimination d'eau ont été observées expérimentalement pour tous les échantillons étudiés.

3.2 Suivi du catalyseur en fonctionnement sous syngas

La Figure 2 présente l'évolution du catalyseur de référence durant le fonctionnement sous 1 bar de syngas à 220°C. Des modifications peuvent être observées au niveau des particules (Figure 2b-c), suggérant ainsi une évolution sensible du catalyseur induite par le milieu réactionnel.

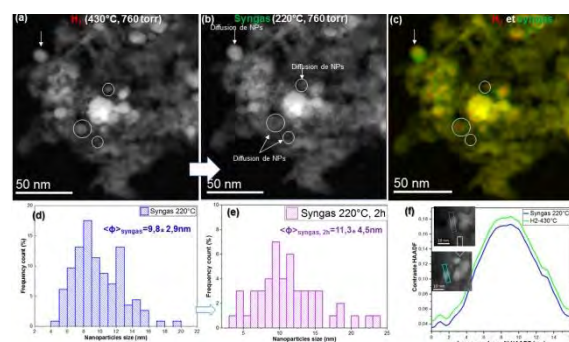


Figure 2. Images STEM-HAADF du suivi *in-situ* de l'évolution du catalyseur Co-Pt/ Al_2O_3 - SiO_2 -16nm sous H_2 (a) puis sous syngas (b). Superposition des images prises durant l'exposition sous H_2 (colorisée en rouge) et sous syngas (colorisée en vert) (c). Histogrammes de la distribution de la taille moyenne des particules avant 1h (d) et après 2h (e) de fonctionnement sous syngas. Analyse du contraste HAADF sur une particule observée sous H_2 à 430°C et sous syngas à 220°C (f).

L'évolution microstructurale du catalyseur peut être associée à un processus activé thermiquement et conduit à un phénomène de diffusion à l'échelle atomique. De manière globale, au niveau du grain catalytique, ceci induit une diminution en taille de certaines particules au profit du grossissement d'autres particules (voir particules indiquées par des flèches dans la Figure 2b), conduisant au final à une augmentation de la taille moyenne des particules (11,3 nm par rapport à 9,8 nm, voir les histogrammes dans la partie d et e de la Figure 2). Dans le cas des particules individuelles, n'ayant pas subi de diffusion, le contraste HAADF (cf.

Figure 2c) est relativement plus important (70%) sous syngas par rapport à celui sous H_2 , ce qui suggère une poursuite de la densification de ces particules.

IV. CONCLUSION

En utilisant un MET en mode *operando*, nous avons pu suivre la réduction et le comportement en fonctionnement d'un catalyseur FT de référence (Co-Pt/ Al_2O_3 - SiO_2 -16nm). En utilisant ce catalyseur, nous avons identifié des phénomènes caractéristiques liés à la réduction des particules de Co_3O_4 : i) la densification de la structure des particules après le départ de l'oxygène ; ii) la disparition progressive des cavités dans les agrégats de Co_3O_4 ; iii) le changement de la morphologie des particules. D'autres phénomènes comme le frittage des particules par migration-coalescence et par mûrissement d'Ostwald ont été également observés.

Durant le fonctionnement du catalyseur sous syngas, le suivi par imagerie STEM-HAADF a montré la mobilité des particules de cobalt avec une diminution de la taille de certaines particules et une augmentation dans d'autres cas. L'activité catalytique du catalyseur est confirmée par la détection d'hydrocarbures légers (C_1 - C_4) et CO_2 . Cette détection est en accord avec la conversion vers des hydrocarbures de chaînes courtes attendues à pression atmosphérique.

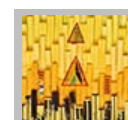
Plus généralement, l'étude de ce catalyseur nous a permis d'établir une approche d'étude des catalyseurs durant leur activation sous H_2 et leur fonctionnement sous syngas.

REMERCIEMENT

Les auteurs remercient le projet ANR 3DCLEAN dont le but est d'étudier des catalyseurs hétérogènes sous conditions environnementales et en 3D et/ou à l'échelle atomique.

REFERENCES

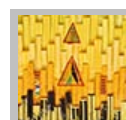
- [1] M. Knoll et E. Ruska, « *Das Elektronenmikroskop* », Z. Physik, vol. 78, n° 5- 6, p. 318- 339, mai 1932
- [2] E. Ruska, « *Beitrag zur übermikroskopischen Abbildung bei höheren Drucken* », Kolloid-Zeitschrift, vol. 100, n° 2, p. 212- 219.
- [3] R. T. K. Baker et P. S. Harris, « *Controlled atmosphere electron microscopy* », Journal of Physics E: Scientific Instruments, vol. 5, n° 8, p. 793, 1972.
- [4] E. D. Boyes et P. L. Gai, « *Environmental high resolution electron microscopy and applications to chemical science* », Ultramicroscopy, vol. 67, n° 1-4, p. 219- 232, juin 1997.



[5] T. Alan et al., « *Micro-fabricated channel with ultra-thin yet ultra-strong windows enables electron microscopy under 4-bar pressure* », Applied Physics Letters, vol. 100, n° 8, p. 081903, févr. 2012.

[6] J. F. Creemer et al., « *Atomic-scale electron microscopy at ambient pressure* », Ultramicroscopy, vol. 108, n° 9, p. 993- 998, août 2008.

[7] <https://www.protochips.com/products/atmosphere/>
(dernière consultation le 31/12/2019)



PARTENAIRES ET SPONSORS

