



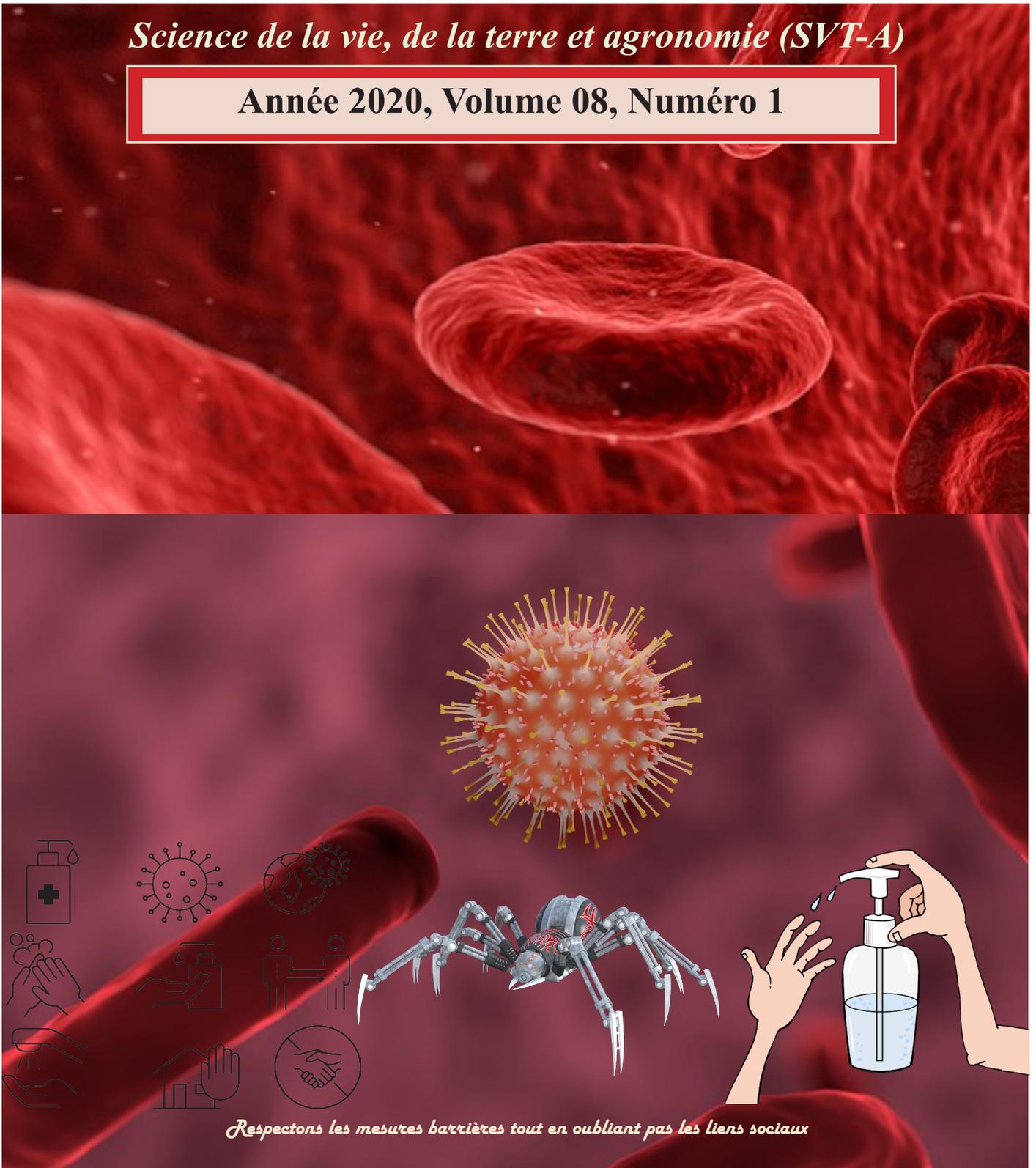
# RAMRES

ISSN 2424-7235

Revue Africain et Malgache de REcherches Scientifiques

*Science de la vie, de la terre et agronomie (SVT-A)*

Année 2020, Volume 08, Numéro 1



*Respectons les mesures barrières tout en oubliant pas les liens sociaux*

# CAMES

## Historique

Plusieurs réunions de spécialistes chargés de définir le rôle et les fonctions de l'Enseignement Supérieur ont conduit à la constitution d'une "Commission consultative d'expert pour la réforme de l'Enseignement en Afrique et à Madagascar". Une résolution de la Conférence des Ministres de l'Éducation nationale tenue à Paris en 1966 donnait mandat à la commission d'entreprendre une recherche approfondie sur les structures et les enseignements des Universités Africaines et malgaches, dans un large esprit de coopération interafricaine. Les conclusions de la réflexion menée par la Commission leur ayant été soumises à la Conférence de Niamey, tenue les 22 et 23 janvier 1968, les Chefs d'Etats de l'OCAM décidèrent la création du "Conseil Africain et Malgache pour l'Enseignement Supérieur", regroupant à ce jour seize (16) Etats francophones d'Afrique et de l'Océan Indien. La convention portant statut et organisation du CAMES fut signée par les seize (16) Chefs d'Etat ou de Gouvernement, le 26 Avril 1972 à Lomé. Tous les textes juridiques ont été actualisés en 1998-1999 et le Conseil des Ministres du CAMES, a lors de la 17ème Session tenue à Antananarivo en Avril 2000, adopté l'ensemble des textes juridiques actualisés du CAMES, qu'on peut retrouver sur le site web <http://www.lecames.org/spip.php?article1>

## Missions

- Promouvoir et favoriser la compréhension et la solidarité entre les Etats membres ;
- Instaurer une coopération culturelle et scientifique permanente entre les Etats membres ;
- Rassembler et diffuser tous documents universitaires ou de recherche : thèses, statistiques, informations sur les examens, annuaires, annales, palmarès, information sur les offres et demandes d'emploi de toutes origines
- Préparer les projets de conventions entre les États concernés dans les domaines de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et contribuer à l'application de ces conventions ;
- Concevoir et promouvoir la concertation en vue de coordonner les systèmes d'enseignement supérieur et de la recherche afin d'harmoniser les programmes et les niveaux de recrutement dans les différents établissements d'enseignement supérieur et de recherche, favoriser la coopération entre les différentes institutions, ainsi que des échanges d'informations.

## Organisation

### Le Conseil des Ministres

Le Conseil des Ministres est l'instance suprême du CAMES. Il regroupe tous les Ministres ayant en charge l'Enseignement Supérieur et/ou la Recherche Scientifique des pays membres. Il se réunit une fois l'an en session ordinaire et peut être convoqué en session extraordinaire. L'actuel Président du Conseil des Ministres est le Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche de Côte d'Ivoire.

### Le Comité des Experts

Le Comité des Experts prépare la session ministérielle. Il est composé de deux représentants par pays membre ou institution membre. Il se réunit une fois l'an en session ordinaire et peut être convoqué en session extraordinaire.

### Le Comité Consultatif Général (CCG)

Il supervise et contrôle l'application de l'Accord portant création et organisation des Comités Consultatifs Interafricains. Ses membres sont des Recteurs ou Présidents d'Universités et des Directeurs des Centres Nationaux de Recherche. Les organismes signataires de l'Accord y sont représentés par leurs Directeurs.

## SOMMAIRE

<b>Étude des propriétés fongicides de l'écorce des tiges de <i>Spondias mombin</i> L.</b>	06
<b>Biodiversité des oiseaux d'eau de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire).</b>	11
<b>Influence du niveau d'entretien des parcelles de cacaoyers et du taux de couverture foliaire sur le développement de la pourriture brune des cabosses à Petit-Bondoukou, Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire.</b>	18
<b>Réponse fonctionnelle des stades larvaires de <i>Phonoctonus lutescens</i> (<i>Heteroptera: Reduviidae</i>) (Guérin Meneville et Percheron, 1887), punaise prédatrice de <i>Dysdercus voelkeri</i> (<i>Heteroptera: Pyrrhocoridae</i>) (Schmidt, 1932) en conditions ambiantes au Burkina Faso.</b>	24
<b>Evaluation des polyphénols et des capacités antioxydantes des fruits de <i>Musa acuminata</i> Colla subsp. <i>burmannicoïdes</i> De Langhe, un bananier sauvage asiatique acclimaté dans la région de Yangambi, RD Congo</b>	30
<b>Incidences Socio-Environnementales et Economiques Des Activites Agricoles Dans Le Nord-Ouest De L'atocora Au Benin</b>	37
<b>Evaluation au laboratoire de l'efficacité de la combinaison de l'huile de neem et du champignon entomopathogène <i>Beauveria bassiana</i> vis-à-vis de <i>Maruca vitrata</i> (Fabricius) (Lepidoptera : Crambidae)</b>	48
<b>Analyse comparative des performances économiques des systèmes de production du maïs dans la commune de Banikoara au Nord-Bénin</b>	56

# INSTRUCTIONS AUX AUTEURS

## Politique éditoriale

La Revue CAMES publie des contributions originales (en français et en anglais) dans tous les domaines de la science et de la technologie et est subdivisée en 9 séries :

- **Sciences des structures et de la matière.** Elle couvre les domaines suivants : mathématiques, physique, chimie et informatique,
- **Sciences de la santé :** médecine humaine, médecine vétérinaire, pharmacie, odonto-stomatologie, productions animales ;
- **Sciences de la vie, de la terre et agronomie ;**
- **Sciences appliquées et de l'ingénieur ;** Littérature, langues et linguistique ;
- **Sciences humaines :** Philosophie, sociologie, anthropologie, psychologie, histoire et géographie ;
- **Sciences économiques et de gestion ;**
- **Sciences juridiques et politiques ;**
- **Pharmacopée et médecine traditionnelles africaines ;**

Toutes les séries publient en moyenne deux numéros par an.

Les contributions publiées par la Revue CAMES représentent l'opinion des auteurs et non celle du comité de rédaction ou du CAMES. Tous les auteurs sont considérés comme responsables de la totalité du contenu de leurs contributions.

## Soumission et forme des manuscrits

La soumission d'un manuscrit à la Revue CAMES implique que les travaux qui y sont rapportés n'aient jamais été publiés auparavant, ne soient pas soumis concomitamment pour publication dans un autre journal et qu'une fois acceptés, ne fussent plus publiés nulle part ailleurs sous la même langue ou dans une autre langue, sans le consentement du CAMES.

Les manuscrits, dactylographiés en interligne double en recto sont soumis aux rédacteurs en chef des séries.

Les manuscrits doivent comporter les adresses postales et électroniques et le numéro de téléphone de l'auteur à qui doivent être adressées les correspondances. Les manuscrits soumis à la Revue CAMES doivent impérativement respecter les indications cidessous:

## Langue de publication

La revue publie des articles rédigés en français ou en anglais. Cependant, le titre, le résumé et les mots-clés doivent être donnés dans les deux langues.

Ainsi, tout article soumis en français devra donc comporter, obligatoirement, «un titre, un abstract et des keywords», idem, dans le sens inverse, pour tout article en anglais (un titre, un résumé et des mots-clés).

## Page de titre

La première page doit comporter le titre de l'article, les noms des auteurs, leur institution d'affiliation et leur adresse complète. Elle devra comporter également un titre courant ne dépassant pas une soixantaine de caractères ainsi que l'adresse postale de l'auteur, à qui les correspondances doivent être adressées.

## Résumé

Le résumé ne devrait pas dépasser 250 mots. Publié seul, il doit permettre de comprendre l'essentiel des travaux décrits dans l'article.

## Introduction

L'introduction doit fournir suffisamment d'informations de base, situant le contexte dans lequel l'étude a été entreprise. Elle doit permettre au lecteur de juger de l'étude et d'évaluer les résultats acquis.

## Corps du sujet

Les différentes parties du corps du sujet doivent apparaître dans un ordre logique.

## Conclusion

Elle ne doit pas faire double emploi avec le résumé et la discussion. Elle doit être un rappel des principaux résultats obtenus et des conséquences les plus importantes que l'on peut en déduire.

## La rédaction du texte

La rédaction doit être faite dans un style simple et concis, avec des phrases courtes, en évitant les répétitions.

## Remerciements

Les remerciements au personnel d'assistance ou à des supports financiers devront être adressés en terme concis.

## Références

Les noms des auteurs seront mentionnés dans le texte avec l'année de publication, le tout entre parenthèses.

Les références doivent être listées par ordre alphabétique, à la fin du manuscrit de la façon suivante:

- **Journal** : noms et initiales des prénoms de tous les auteurs, année de publication, titre complet de l'article, nom complet du journal, numéro et volume, les numéros de première et dernière page.

- **Livres** : noms et initiales des prénoms des auteurs et année de publication, titre complet du livre, éditeur, maison et lieu de publication.

- **Proceedings** : noms et initiales des prénoms des auteurs et année de publication, titre complet de l'article et des proceedings, année et lieu du congrès ou symposium, maison et lieu de publication, les numéros de la première et dernière page.

### Tableaux et figures

Chaque tableau sera soumis sur une feuille séparée et numéroté de façon séquentielle. Les figures seront soumises sur des feuilles séparées et numérotées,

selon l'ordre d'appel dans le texte.

La numérotation des tableaux se fera en chiffres romains et celle des figures en chiffres arabes, dans l'ordre de leur apparition dans le texte.

### Photographies

Les photographies en noir & blanc et couleur, sont acceptées.

### Procédure de révision

Les manuscrits sont soumis à la révision des pairs. Chaque manuscrit est soumis au moins à deux référés spécialisés. Les auteurs reçoivent les commentaires écrits des référés. Il leur est alors notifié, par la même occasion, l'acceptation ou le rejet de leur contribution.

**NB : Le manuscrit accepté doit, après correction conformément aux recommandations des référés, être retourné aux différents rédacteurs en chef des séries, en format WORD ou DOC.**

## REDACTEURS EN CHEF DES REVUES

Les auteurs sont invités à envoyer directement leurs articles aux rédacteurs en chef des différentes séries:

- **Sciences des structures et de la matière:**

Pr ABDOULA YB Alassane: aabdouy@yahoo.com (Niamey)

- **Sciences de la santé:**

Pr TOURE Meissa mtoure@ised.sn (Dakar)

- **Sciences de la vie, de la terre et agronomie:**

Pr GLITHO Adolé I. iglitho@yahoo.fr (Lomé)

- **Sciences appliquées et de l'ingénieur:**

Pr FALL Meissa meissaJall@univ-thies.sn (Thiès)

- **Littérature, langues et linguistique:**

Pr AINAMON augustin ainamonaugustin@yahoo.fr (Cotonou)

- **Sciences humaines:**

Pr KADANGA Kodjona kkadanga59@yahoo.fr (Lomé)

- **Sciences économiques et de gestion:**

Pr ONDO Ossa Albert saon4@yahoo.fr (Gabon)

- **Sciences juridiques et politiques:**

Pr SOMA Abdoulaye tikansonsoma@yahoo.fr (Ouagadougou)

- **Pharmacopée et médecine traditionnelles africaines**

Pr OUAMBA Jean Maurille jm\_maurille@yahoo.fr (Brazzaville)

Conformément à la **note d'information N° 0011.2018//CAMES/SG/KP du 28/02/2018**, adressée aux Rédacteurs en chef des Revues du **CAMES** (qui devient **RAMres : Revue Africaine et Malgache de Recherches Scientifiques**). Vous êtes priés de bien vouloir vous acquitter des **frais d'évaluation** de votre article qui s'élèvent à **25 000 F CFA** et d'envoyer votre reçu de paiement et une copie de votre manuscrit à l'adresse **iglitho\_at\_yahoo.fr**

Si votre article est accepté pour publication, après révision, vous paierez des **frais de publication** qui s'élèvent à **75 000 F CFA** avant sa parution dans la revue sur la plate-forme de gestion des publications.

NB: - **WARI**; - **Express union Internationale**; - **Rapid Transfert ECOBANK**; - **Africash UBA**.

Au Comptable du CAMES (**M. BOUROBOU Orphé Tuburse**) et le code par **SMS** au **+226 66897033**. Les reçus doivent être scannés et envoyés à l'adresse suivante **<pocoulibaly\_at\_yahoo.fr>**. avec copie au **Professeur GLITHO A. <iglitho\_at\_yahoo.fr>** (PS: Prendre soin de remplacer **\_at\_** par **@** dans les e-mail ci-dessus.)

APRES RETRAIT DE L'ARGENT, LE COMPTABLE DU CAMES VOUS DÉLIVRERA UNE ATTESTATION DE RETRAIT QUE VOUS ENVERREZ à **iglitho\_at\_yahoo.fr** ACCOMPAGNEE DE VOTRE MANUSCRIT (DEUX FICHIERS WORD AU MAXIMUM).

## Étude des propriétés fongicides de l'écorce des tiges de *Spondias mombin* L.

\*KOUADIO Ahou Irène et YAPI Amin Paulin

### Résumé

*Spondias mombin* L. est un arbre connu pour ses propriétés antimicrobiennes. Dans cette étude, l'extrait de l'écorce de ses tiges utilisé en médecine traditionnelle a été évalué pour son effet sur la croissance et la survie de trois espèces d'*Aspergillus* à savoir *Aspergillus flavus*, *Aspergillus fumigatus* et *Aspergillus nidulans* après purification de celui-ci par la méthode d'éthyle acétate. Les résultats obtenus montrent que la croissance radiale qui était de 90 mm sur le milieu sans la fraction antifongique est passée à 72,15; 55; 24,3 et 0 mm pour *A. nidulans*, 65,67; 40; 18 et 0 mm pour *A. fumigatus*, et 82,33; 54,17; 26,13 et 0 mm pour *A. flavus* après 7 jours d'incubation respectivement sur le milieu de culture à 1%, 2%, 3% et 4% de fraction antifongique. Au bout de ce même temps d'incubation, dans le milieu de culture à 4% de fraction antifongique où il a été noté une absence de croissance fongique, le pourcentage de réduction du réactif de l'Alamar Blue représentant le pourcentage de cellules survivantes était autour de 3%, 2% et 5% respectivement pour *A. nidulans*, *A. fumigatus*, et *A. flavus*.

Cet extrait de l'écorce des tiges a ainsi la capacité d'inhiber et de tuer les espèces fongiques contrairement à certains fongicides chimiques qui peuvent inhiber sans tuer les espèces fongiques. Nous pouvons donc conclure que l'utilisation de l'extrait de l'écorce des tiges de cet arbre comme fongicide naturel peut être une alternative à l'utilisation des fongicides chimiques qui sont toxiques pour l'homme, l'animal et l'environnement.

**Mots clés :** *Spondias mombin* L., écorce, fraction antifongique, espèces fongiques, viabilité cellulaire

### Abstract

#### Study of the fungicidal properties of the stem bark of *Spondias mombin* L.

*Spondias mombin* L. is a tree known to possess antimicrobial properties. In this study, the stem bark extract used in traditional medicine was evaluated for its effect on the growth and survival of three *Aspergillus* species (*Aspergillus flavus*, *Aspergillus fumigatus* and *Aspergillus nidulans*) after purification of this extract by the ethyl acetate method. The results obtained show that the radial growth which was 90 mm on the medium without the antifungal fraction rose to 72.15; 55; 24.3 and 0 mm for *A. nidulans*, 65.67; 40; 18 and 0 mm for *A. fumigatus*, and 82.33; 54.17; 26.13 and 0 mm for *A. flavus* after 7 days of incubation respectively on the culture medium at 1%, 2%, 3% and 4% of antifungal fraction. At the end of this same incubation time, it is noted that in the medium at 4% of antifungal fraction, where no fungal growth was observed, the percentage in reduction of the Alamar Blue reagent indicating the percentage of surviving cells, was around 3%, 2% and 5% respectively for *A. nidulans*, *A. fumigatus*, and *A. flavus*. The stem bark extract has thus the ability to inhibit and kill fungal species in opposite to some chemical fungicides which can inhibit fungi without killing them. We can therefore conclude that the use of the stem bark extract of this tree as a natural fungicide may be an alternative to the use of chemical fungicides that are toxic for human, animal and the environment.

**Keywords:** *Spondias mombin* L., bark, antifungal fraction, fungal species, cell viability

KOUADIO Ahou Irène

E-mail : irenekouadio@yahoo.fr

Téléphone : 00225 07250511 / 00225 40987331

Paulin Amin Yapi

E-mail: aminpaulin11@gmail.com

Téléphone : 00225 07146216

UFR Biosciences, Laboratoire de Biochimie et Sciences des Aliments (LABSA), Université Félix Houphouët-Boigny, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

\* Auteur Correspondant: irenekouadio@yahoo.fr

### INTRODUCTION

De la production jusqu'à la consommation, les produits alimentaires peuvent être contaminés par des microorganismes (Heaton and Jones, 2008). Parmi ces microorganismes, figurent les moisissures qui font partie du groupe des mycètes qui arrivent au deuxième rang, juste après les insectes, pour l'ampleur des pertes qu'elles causent aux produits alimentaires

principalement d'origine végétale. Cette contamination par les moisissures peut conduire ainsi à une putréfaction d'aliments qui implique tout changement physico-chimique et rend les aliments impropres à la consommation humaine (Majumdar et al., 2018). Certaines moisissures sont également susceptibles de produire des poisons appelés mycotoxines (Steyn, 1995; Binder et al., 2007 ; Kouadio et al., 2013a). Ces poisons naturels peuvent avoir des effets aigus ou chroniques sur les humains et les animaux et ils ont été définis comme un problème majeur

de sécurité alimentaire (Kuiper-Goodman, 2004). Ils possèdent en effet, des propriétés cancérigènes, immunosuppressives, hépatotoxiques et tératogènes (Pfohl-Leszkowiz A., and Castagnaro 1999; Ringot et al., 2006). Ces poisons sont généralement formés dans les aliments avant d'être mangés et ne peuvent être détectés par le goût, l'odeur ou la couleur. Des solutions doivent donc être trouvées afin de réduire voir annihiler cette contamination par les moisissures.

La première méthode de contrôle de cette contamination fongique est le respect des bonnes pratiques de production des denrées alimentaires qui ont été décrites et illustrées par Bucheli et Taniwaki, (2002). Cependant, le zéro risque de contamination est difficile à atteindre. Ainsi, de nombreux agriculteurs utilisent des fongicides chimiques pour empêcher la contamination des cultures par ces champignons. Cependant, les exigences concernant la sécurité de ces formulations ont été accentuées en raison des risques toxicologiques (Directive 91/414/CEE, 1991).

En outre, le grand public réclame une utilisation réduite des conservateurs chimiques et des additifs dans les denrées alimentaires et les aliments pour animaux (Rouabhi, 2010). Par conséquent, l'utilisation de substances naturelles capables d'inhiber le développement des champignons ainsi que la production de mycotoxines serait d'une grande importance. La flore végétale ivoirienne regorge de plusieurs plantes qui possèdent de nombreuses activités biologiques qui pourraient être exploitées à cette fin. C'est le cas de *Spondias mombin* L., arbre de 12 à 25 m de haut appartenant à la famille des *Anacardiaceae*. Il possède un tronc recouvert d'écorce épaisse et rugueuse. Très répandue dans les pays tropicaux, *Spondias mombin* L. revêt une importance particulière du fait de ses vertus alimentaires et de ses nombreuses utilisations thérapeutiques (Adjanohoun et Aké-Assi, 1979; Arbonnier, 2002). En médecine traditionnelle, il est souvent utilisé dans le traitement de diverses affections telles que l'hypertension artérielle, la toux, la blennorrhagie, la carie dentaire, les vers intestinaux et les troubles gastro-intestinaux comme les maux de ventre, les douleurs d'estomac, la dysenterie et surtout la diarrhée (Bouquet et Debray, 1974; Ayoka et al., 2008). L'évaluation de l'effet de l'extrait des feuilles et de l'écorce de cet arbre sur des espèces bactériennes a révélé une activité antibactérienne intéressante (Maduka et al., 2014). Les activités antifongique et fongicide restent par ailleurs à explorer.

Les feuilles de cet arbre ayant montré un effet inhibiteur uniquement sur des espèces bactériennes, la présente étude a ainsi été réalisée afin d'évaluer l'activité antifongique de l'extrait de l'écorce de *Spondias mombin* L. pour une contribution à la recherche de substances naturelles pouvant être utilisées comme alternatives aux fongicides synthétiques qui ont des effets néfastes sur l'homme, l'animal et l'environnement.

## MATERIEL ET METHODE

### Matériel

Le matériel biologique utilisé dans cette étude est composé d'écorce des tiges de *Spondias mombin* L. provenant du centre de la Côte d'Ivoire et de trois espèces d'*Aspergillus* fréquemment isolées sur divers produits alimentaires locaux. Il s'agit d'*Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus nidulans* et *Aspergillus flavus* fournies par le laboratoire de parasitologie et de mycologie de l'Institut Pasteur à Abidjan (Côte d'Ivoire). Outre le fait que ces espèces soient fréquemment isolées sur des produits alimentaires, le choix de celles-ci est aussi dû au fait qu'en zone tropicale, les mycotoxines qui sont des métabolites toxiques sont produites principalement par les espèces du

genre *Aspergillus*. Le milieu de culture utilisé était le milieu Sabouraud au chloramphénicol.

### Préparation de l'extrait de l'écorce des tiges

L'écorce des tiges a été broyée et 30 g de l'homogénat obtenu ont été ajoutés à 150 mL d'éthanol à 50% (V/V). Le mélange a été bouilli dans un bain-marie à 80 ° C pendant 1 heure sous agitation douce. Le mélange résultant a été centrifugé à 2000 tr / min pendant 10 min. Le surnageant a ensuite été filtré sur du papier Whatman. La solution résultante a été lyophilisée. Le lyophilisat obtenu a été dissout dans 15 mL d'eau distillée et agité jusqu'à dissolution totale. Afin de purifier l'homogénat obtenu et d'utiliser la fraction contenant les composés antifongiques, le procédé de purification par l'acétate d'éthyle a été utilisé. Cette purification de l'extrait a été réalisée en ajoutant à l'homogénat obtenu 15 mL d'acétate d'éthyle. Le mélange résultant a été agité pendant 1 min. et centrifugé à 2000 tr / min pendant 10 min. Une phase aqueuse et une phase d'acétate d'éthyle ont été obtenues. La phase d'acétate d'éthyle a été récupérée dans un nouveau tube.

Une quantité de 15 mL d'acétate d'éthyle a été ajoutée à la phase aqueuse restante. L'ensemble a été agité et centrifugé comme décrit ci-dessus. Cette purification a été faite trois fois. Les trois phases d'acétate d'éthyle ont été placées dans le même tube et la phase aqueuse dans un autre tube, puis les deux solutions obtenues ont été séchées sous hotte. Les résidus des phases aqueuse et d'acétate d'éthyle ont été dissouts respectivement dans un volume nécessaire (10 mL) d'eau distillée et d'acétate d'éthyle, puis filtrés séparément sur des membranes coupantes de 0,20 µm pour éliminer les résidus non dissouts et les contaminants éventuels. L'activité antifongique de ces fractions aqueuse et d'acétate d'éthyle a été évaluée afin d'utiliser celle contenant les composés antifongiques pour le test d'inhibition de la croissance fongique et de celui de la survie des espèces fongiques (Kouadio et al., 2011a).

### Préparation des souches fongiques

Les souches d'*Aspergillus* ont étéensemencées sur la gélose Sabouraud au chloramphénicol pendant 3 jours. Les différentes suspensions de spores ont ensuite été préparées en transférant les spores issues des cultures dans 10 mL d'eau distillée stérilisée et filtrées sur du tissu Mira stérilisé. La concentration en conidies de chaque souche a été déterminée en les comptant dans un hémacytomètre et une dilution appropriée a été effectuée pour obtenir une concentration de 10<sup>6</sup> spores / mL. Ces suspensions de 10<sup>6</sup> spores / mL ont été utilisées pour les tests d'inhibition de la croissance fongique et de survie de ces espèces fongiques.

### Evaluation des activités antifongiques des fractions obtenues après purification de l'extrait de feuilles par la méthode à l'acétate d'éthyle

Chaque suspension d'*Aspergillus* préalablement préparée a étéensemencée par étalement sur le milieu Sabouraud au chloramphénicol. Un disque de 1 cm de diamètre a été imprégné avec 100 µL de chaque fraction de l'extrait et déposé sur le milieu inoculé.

Chaque milieu avec le disque imprégné a été incubé à 30 ° C, température de croissance optimale pour *A. flavus* et à 37 ° C, température de croissance optimale pour *A. fumigatus* et *A. nidulans*. Le disque autour duquel aucune croissance fongique n'a été observée a été identifié comme étant celui imprégné par la fraction contenant les composés ayant une activité antifongique.

## Suivi de la croissance fongique

La fraction contenant les composés antifongiques a été incorporée au milieu de culture pour obtenir des milieux de concentration de 1%, 2%, 3% et 4%. Chaque milieu a été coulé dans une boîte de Pétri et, après solidification, 10 µL de la suspension de spores ont été déposés de manière aseptique au centre de ce milieu de culture. Un milieu de culture sans fraction antifongique a également été inoculé. Pour chaque teneur en fraction antifongique, trois boîtes de pétri ont été inoculées et mises à incuber à différentes températures, comme décrit ci-dessus. La croissance radiale a été déterminée en mesurant chaque jour le diamètre de la colonie selon la méthode de Pitt, (1988). Cette expérience a été réalisée pendant 7 jours.

## Test de l'évaluation de l'effet de la fraction antifongique sur la survie des espèces fongiques

L'expérience a été menée sur une période de 5 jours. Après chaque mise à incubation de 24 heures, 700 µL de Sabouraud au chloramphénicol liquide et 300 µL de réactif Alamar Blue ont été ajoutés dans chaque tube. La concentration finale du réactif Alamar Blue dans chaque tube à essai était de 10%. Ensuite, la suspension microbienne contenant le réactif Alamar Blue a été mise à incuber à 37 °C pendant 4 heures. Le milieu de culture sans suspension microbienne mais contenant le réactif Alamar Blue a également été mis à incuber.

Après ce temps d'incubation, 100 µL de chaque suspension ont été placés dans des puits séparés d'une microplaque et l'absorbance a été déterminée à 570 nm en utilisant 600 nm comme longueur d'onde de référence dans l'appareil ELISA de Bio-Teck (Kouadio et al., 2013b).

## Analyses statistiques des données

L'analyse statistique des données a été réalisée par une analyse de variance (ANOVA) en utilisant un niveau de signification de 5%. Le logiciel statistique utilisé est IBM SPSS Statistics version 20. Le test de comparaison multiple de Tukey a été utilisé pour identifier ces différences.

## RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats obtenus montrent une absence de croissance autour des disques imprégnés par la fraction aqueuse (Figure 1). Les composés antifongiques sont donc hydrosolubles. Des travaux précédents ont également révélé que l'extrait de l'écorce possède des propriétés antimicrobiennes (Maduka et al. 2014). Cependant, ces auteurs ont plutôt évalué l'effet de l'extrait éthanolique sur la croissance de certaines bactéries et non sur la croissance des espèces fongiques.

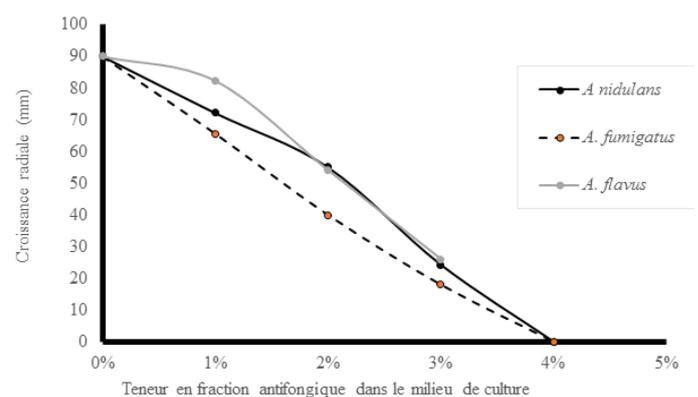


**Figure 1.** Effet de (A): la fraction aqueuse, (B): l'acétate d'éthyle et (C): la fraction éthyle acétate sur la croissance fongique

Cette fraction aqueuse contenant les composés antifongiques possède un effet inhibiteur dose dépendante sur la croissance des espèces fongiques traitées (Tableau 1). En effet, la croissance radiale qui était de 90 mm sur le milieu sans la fraction possédant l'activité antifongique (fraction antifongique) est passée à 72,15; 55; 24,3 et 0 mm pour *A. nidulans*, 65,67; 40; 18 et 0 mm pour *A. fumigatus*, et 82,33; 54,17; 26,13 et 0 mm pour *A. flavus* après 7 jours d'incubation respectivement sur le milieu de culture à 1%, 2%, 3% et 4% de fraction antifongique (Figure 2).

**Tableau 1:** Effet dose dépendante de la fraction antifongique de l'extrait de l'écorce de *Spondias mombin* L. sur la croissance fongique

Sous ensembles homogènes		Croissance radiale (mm)					
Tukey HSD		alpha = 0,05					
Teneur de la fraction antifongique dans le milieu de culture		N					
		1	2	3	4	5	
<i>A. fumigatus</i>	0%	3	90 ± 0,00				
	1%	3		65,67 ± 0,04			
	2%	3			40 ± 0,02		
	3%	3				18 ± 0,06	
	4%	3					0
	Signification		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<i>A. nidulans</i>	0%	3	90 ± 0,00				
	1%	3		72,15 ± 0,01			
	2%	3			55 ± 0,11		
	3%	3				24,3 ± 0,03	
	4%	3					0
	Signification		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<i>A. flavus</i>	0%	3	90 ± 0,01				
	1%	3		82,33 ± 0,22			
	2%	3			54,17 ± 0,04		
	3%	3				0,9143 ± 0,01	
	4%	3					0
	Signification		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00



**Figure 2:** Effet de la fraction antifongique sur la croissance fongique au bout de 7 jours d'incubation

L'analyse effectuée a montré que les croissances observées sur les milieux de culture à différente teneur en fraction antifongique sont significativement différentes ( $P < 0,05$ ). Par ailleurs, à 4% de fraction antifongique dans le milieu de culture, une inhibition totale de la croissance a été observée. Cette teneur en extrait antifongique dans le milieu de culture est donc la concentration minimale inhibitrice (CMI). L'absence de la croissance observée sur le milieu de culture à 4% de fraction antifongique pourrait s'expliquer par l'absence de germination des conidies comme le montrent les résultats de l'observation microscopique effectuée (Figure 3). La majorité

des travaux précédents (Ajao et Shomukan 1985; Corthout et al., 1991, Abo et al., 1999; Maduka et al. 2014) ayant montré que l'extrait de l'écorce des tiges de cet arbre a principalement un effet antibactérien, l'effet antifongique observé dans cette présente étude, montre que l'écorce des tiges peut avoir un effet inhibiteur aussi bien sur les bactéries que sur les moisissures.

de cellules survivantes était de 73,16%, 69,061%, et 77,01% respectivement pour *A. nidulans*, *A. fumigatus*, et *A. flavus* au bout de la même durée d'incubation (Figure 4). Dans le milieu de culture ne contenant pas de fraction antifongique, le pourcentage de réduction du réactif Alamar Blue représentant le pourcentage de cellules survivantes était autour de 100%.

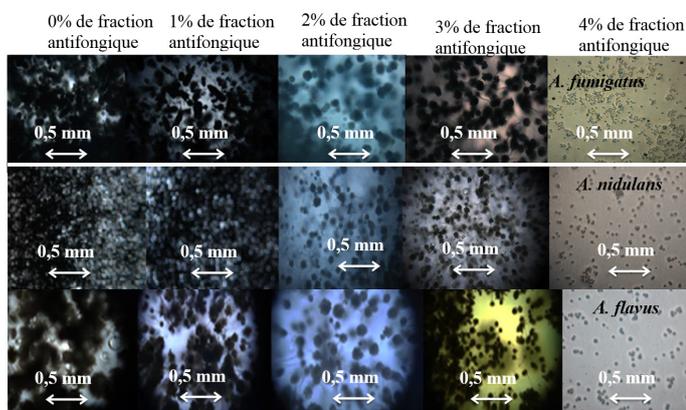


Figure 3: Effet de la fraction antifongique de l'extrait de l'écorce de *Spondias mombin* L. sur la germination des conidies

L'évaluation du pourcentage de réduction du réactif Alamar Blue représentant le pourcentage de cellules survivantes a également montré que la fraction antifongique exerce un effet fongicide dose dépendante sur les espèces fongiques testées (Tableau 2). En effet, dans le milieu de culture à 4% de fraction antifongique où il a été noté une absence de croissance fongique, le pourcentage de réduction du réactif de l'Alamar Blue représentant le pourcentage de cellules survivantes était autour de 3%, 2% et 5% respectivement pour *A. nidulans*, *A. fumigatus*, et *A. flavus* au bout 5 jours d'incubation tandis que dans le milieu à 1% de fraction antifongique, le pourcentage

Tableau 2: Effet dose dépendante de la fraction antifongique de l'extrait de l'écorce de *Spondias mombin* L. sur le pourcentage de réduction du réactif Alamar Blue par les espèces fongiques

Sous ensembles homogènes	Pourcentage de réduction du réactif Alamar Blue						
	Teneur en fraction antifongique dans le milieu de culture	N	1	2	3	4	5
<i>A. fumigatus</i>	0%	3	100				
	1%	3		69,06173 ± 0,164			
	2%	3			29,7287 ± 0,372		
	3%	3				3,56373 ± 0,188	
	4%	3					2,0996 ± 0,143
	Signification		1,000	1,000	1,000	0,461	
<i>A. nidulans</i>	0%	3	100				
	1%	3		73,156 ± 0,554			
	2%	3			32,1044 ± 0,440		
	3%	3				3,52139 ± 0,0958	
	4%	3					3,003 ± 0,183
	Signification		1,000	1,000	1,000	0,072	
<i>A. flavus</i>	0%	3	100				
	1%	3		77,00999 ± 0,4242			
	2%	3			38,735 ± 0,583		
	3%	3				8,574 ± 0,162	
	4%	3					5,05 ± 0,415
	Signification		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

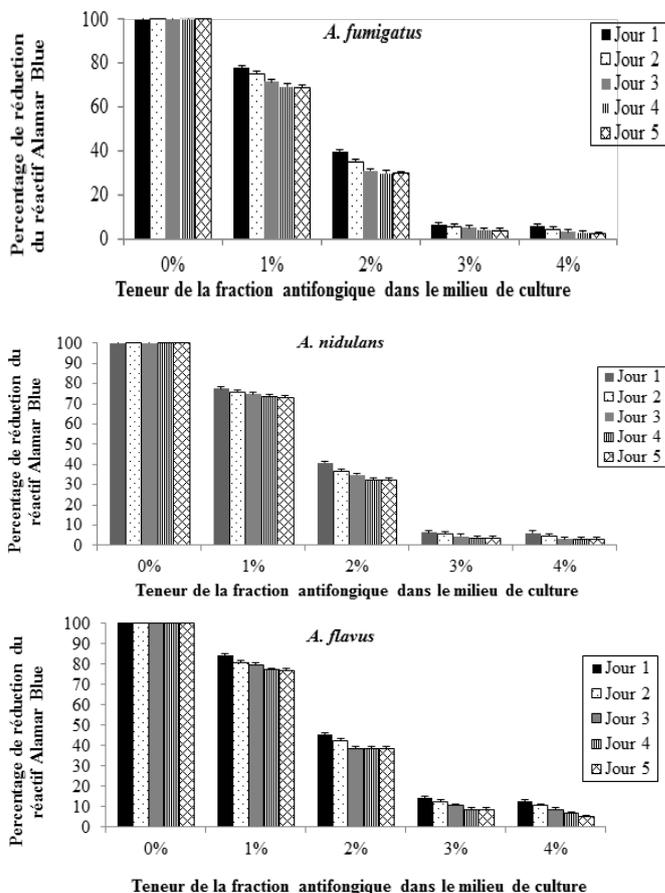


Figure 4: Effet de la fraction antifongique de l'extrait de l'écorce des tiges de *Spondias mombin* L. sur le pourcentage de réduction du réactif Alamar Blue par *A. fumigatus*, *A. nidulans* et *A. flavus*

tiges pourrait être due à sa richesse en polyphénols comme l'ont montré Maduka et al. (2014). D'autres plantes à savoir *Solanum indicum* L. *Lycopersicon esculentum* M. possèdent également la capacité d'inhiber et tuer les espèces fongiques (Kouadio et al., 2013a et b). Cela offre des perspectives intéressantes quant à l'utilisation de substances naturelles comme alternatives aux fongicides chimiques.

## CONCLUSION

Cette étude a révélé que l'écorce des tiges de *Spondias mombin* L. possède des activités antifongiques importantes en raison de leur effet inhibiteur sur la prolifération des champignons et de leur capacité à les tuer. Il met en évidence la découverte d'extrait naturel qui pourrait être utilisé comme alternative aux fongicides chimiques dont certains peuvent inhiber la croissance des champignons sans les tuer comme l'a montré Rouabhi en 2010. Depuis de nombreuses années, cette plante a été utilisée aussi bien à des fins thérapeutiques qu'à des fins culinaires dans de nombreux pays africains sans aucun effet toxique noté à notre connaissance.

Par conséquent, afin d'éviter les risques toxicologiques pour l'environnement, l'animal et l'homme, dus à l'utilisation

de fongicides chimiques d'une part, et d'autre part, réduire l'utilisation d'agents de conservation et d'additifs chimiques dans les denrées alimentaires et les aliments pour animaux, l'extrait de l'écorce des tiges peut être utilisé. Cet effet inhibiteur de l'écorce des tiges pourrait être dû à leur richesse en polyphénols. Des recherches supplémentaires doivent être menées sur ces polyphénols afin de confirmer ce fait.

### Remerciements

Les auteurs remercient le laboratoire de parasitologie et de mycologie de l'Institut Pasteur à Abidjan (Côte d'Ivoire) pour les souches fongiques testées.

### Conflit d'intérêt

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt.

### REFERENCES

Abo KA, Ogunleye VO and Ashidi JS. 1999. Antimicrobial potential of *Spondias mombin*, *Croton zambesicus* and *Zygotritonia crocea*. *Phytotherapy Research*, 13:494-497.

Ajao AO and Shonukan O. 1985. Antibacterial effect of aqueous and alcohol extracts of *Spondias mombin* and *Alchomea cordifolia*: 2 local antimicrobial remedies. *International Journal of crude drug Research*. 23: 67-72.

Adjanohoun EJ, Aké-Assi L. 1979. Contribution au recensement des plantes médicinales de Côte-d'Ivoire. Centre national de floristique de l'université nationale de Côte-d'Ivoire 1, Abidjan, Côte-d'Ivoire, pp. 21-2.

Arbonnier M. 2002. Arbres, arbustes et lianes des zones sèches de l'Afrique de l'Ouest. 2e édition. Cirad-MNHN, pp. 154-5.

Ayoka AO, Akomolafe RO, Akinsomisoye OS, Ukponmwan OE. 2008. Medicinal and economic value of *Spondias mombin*. *African Journal of Biomedical Research*, 11: 129-36.

Binder EM, Tan LM, Chin LJ, Handl J & Richard J 2007. Worldwide occurrence of mycotoxins in commodities feeds and feed ingredients. *Animal Feed Science and Technology*, 137: 265-282.

Bouquet A, Debray M. 1974. Plantes médicinales de la Côte-d'Ivoire. *Orstom Paris* 32: 15-6.

Bucheli P, and Taniwaki MH. 2002. Research on the origin, and on the impact of post-harvest handling and manufacturing on the presence of Ochratoxin A in coffee. *Food Additives & Contaminants*, 19(7):655-665.

Corthout J, Pieters LA Claeys M, Vanden Berghe DA and Viletinck AJ. 1991. Antibacterial and molluscidal phenolic acid from *Spondias mombin*. *Planta medica*, 60:460-463.

Directive 91/414/CEE du Conseil du 15 juillet 1991 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques. *Official Journal*, L 230 du 19.8.1991 1.

Heaton JC, Jones K. 2008. Microbial Contamination of Fruit

and Vegetables and the behaviour of Enteropathogens in the Phyllosphere, A Review. *Journal of Applied Microbiology*, 104:613-626. DOI: 10.1111/j.1365-2672.2007.03587.

Kouadio AI, Oulahal N, Nguyen Thi P, Adt I and Degraeve P. 2011. Study of the antimicrobial activities of *Solanum indicum* ssp. *Distichum* (Schumach. and Thonning 1827) fruits ("gnangnan" berries) from a tropical humid zone (Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5(3): 1190-1200. ISSN 1991-8631.

Kouadio IA, Koffi LB, Dosso MB. 2013a. Prevention of crops contamination by fungi and mycotoxins using natural substances derived from *Lycopersicon esculentum* Mill. *Leaves*. *Journal of Food Security* 1(2):16-26. DOI:10.12691/jfs-1-2-2.

Kouadio IA, Lee Mi-K, Han K-H, Yu J-H. Effect of *Solanum indicum* L. Green Berries Extract on Proliferation and Survival of *Aspergillus nidulans*, *Aspergillus flavus*, and *Aspergillus fumigatus*. 2013b. *American Journal of Food Science and Technology*, Vol. 1, No. 3, 50-59. DOI:10.12691/ajfst-1-3-8.

Kuiper-Goodman T. 2004. Risk assessment and risk management of mycotoxins in food. In: *Mycotoxins in food Detection and control*, Magan N. and Olsen M. (eds). Cambridge, England. Woodhead Publishing Limited, 3-31.

Maduka HCC, Okpogba AN, Ugwu CE, Dike CC, Ogueche PN, Onwuzurike DT, and Ibe DC. 2014. Phytochemical, antioxidant and microbial inhibitory effects of *Spondias mombin* leaf and stem bark extracts. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences (IOSR-JPBS)*, 9(2): 14-17. e-ISSN: 2278-3008, p-ISSN:2319-7676.

Majumdar A, Pradhan N, Sadasivan J, Acharya A, Ojha N, Babu S, and Bose S. 2018. Food Degradation and Foodborne Diseases: A Microbial Approach. *Microbial Contamination and Food Degradation*, 109-148.

Pfohl-Leszkowiz A, and Castegnaro M. 1999. "L'ochratoxine A, In: Pfohl-Leszkowiz A, "Ed., Les Mycotoxines dans L'Alimentation: Evolution et Gestion des Risques", Lavoisier Paris, 249-277.

Pitt JI. 1988. A laboratory guide to common *Penicillium* species, *Tingalpa Food Science*, 197 p.

Ringot D, Chango A, Schneider YJ, Larondelle Y. 2006. Toxicokinetics and toxicodynamics of ochratoxin A, an update. *Chemico-Biological Interactions*, 159(1):18-46.

Rouabhi R. 2010. Introduction and Toxicology of Fungicides. Odile Carisse (Ed.), ISBN: 978-953-307-266-1. Intech (14) Brul S, Coote P Preservative agents in foods: Mode of action and microbial resistance mechanisms. *International Journal of Food and Microbiology*, 50: 1-17.

Steyn PS. 1995. Mycotoxins, general view, chemistry and structure. *Toxicology Letters*, (82): 843-851.

## Biodiversité des oiseaux d'eau de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire).

Yélakan Solange KONE, Kadio Saint Guillaume ODOUKPE\*, Monnoin Frédéric GUEYE et K. Hilaire YAOKOKORE-BEIBRO.

### Résumé

La lagune Ebrié et ses alentours ont fait l'objet d'un inventaire ornithologique de janvier 2014 à décembre 2015. La marche lente, marquée d'arrêts le long de la lagune en suivant un transect itinérant d'environ 3 km sur chacun de sept différents sites, a permis de recenser 47 espèces d'oiseaux d'eau appartenant à 36 genres, 16 familles et regroupées en 8 ordres. L'ordre des Charadriiformes est le plus diversifié avec 22 espèces. Les familles les plus représentées sont les Ardeidae avec 13 espèces et les Scolopacidae avec 10 espèces. Deux espèces sont inscrites sur la liste rouge de l'UICN, la sterne des Baleiniers *Sternula balaenarum* Strickland, 1853 (espèce vulnérable, VU) et le Courlis cendré *Numenius arquata* (Linné, 1758) (espèce quasi menacée, NT). Une espèce est du biome de la forêt Guinéo-congolaise (A05). Par ailleurs les espèces à statut mixte à la fois résidentes et migratrices sont les plus représentées (18 espèces). Les espèces strictement migratrices composées en majorité des limicoles des familles des Charadriidae et des Scolopacidae comptent 16 espèces. Cette étude a permis de dénombrer au total 4969 individus d'oiseaux d'eau qui se répartissent majoritairement entre cinq espèces que sont le Héron garde-bœuf *Bubulcus ibis* (Linné, 1758), l'Aigrette à gorge blanche *Egretta gularis* (Bosc, 1792), le Cormoran africain *Microcarbo africanus* (Gmelin, 1789), le Bihoreau gris *Nycticorax nycticorax* (Linné, 1758) et la Sterne Caugek *Thalasseus sandvicensis* (Latham, 1787). Ces résultats montrent que la lagune Ebrié est un site d'intérêt pour la conservation qui mériterait d'être mieux gérée.

**Mots clés :** Oiseaux d'eau, Diversité, Abondance, Lagune Ebrié, Côte d'Ivoire.

### Abstract

The Ebrié lagoon and its surroundings were the subject of an ornithological inventory from January 2014 to December 2015. The slow walk, marked with stops along the lagoon following an itinerant transect of about 3 km on each of seven different sites, identified 47 species of waterbirds belonging to 36 genera, 16 families and grouped into 8 orders. The Charadriiformes order is the most diverse with 22 species. The most represented waterfowl families are the Ardeidae with 13 species and the Scolopacidae with 10 species. Two species are on the IUCN Red List: the Damara tern *Sternula balaenarum* (Vulnerable species, VU) and Eurasian Curlew *Numenius arquata* (near threatened species, NT). One species is from the biome of the Guineo-Congolese forest (A05). In addition, the mixed-status species that are both resident and migratory are the most represented (18 species). The strictly migratory species composed mainly of waders of the families Charadriidae and Scolopacidae count 16 species. This study made it possible to count a total of 4969 waterbirds, which are mainly distributed among four species, namely the Cattle Egret *Bubulcus ibis*, the Western Reef-egret *Egretta gularis*, the Long-tailed Cormorant *Microcarbo africanus*, the Black-crowned Night-heron *Nycticorax nycticorax* and the Sandwich Tern *Thalasseus sandvicensis*.

**Key words:** Water birds, Diversity, Abundance, Ebrié lagoon, Côte d'Ivoire.

Unité de Recherche de Biologie de la Conservation et Gestion de la Faune, Laboratoire des Milieux Naturels et Conservation de la Biodiversité, UFR Biosciences, Université Félix

HOUPHOUËT-BOIGNY, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire  
\*Auteur correspondant ; Courriel : sgodoukpe@yahoo.fr / Tel +225 07 775 798

### INTRODUCTION

Les zones humides renferment une biodiversité importante et rendent de nombreux services écosystémiques à l'humanité (Fustec et Lefeuvre, 2000). Cependant, malgré leur importance, ces zones humides subissent de fortes dégradations dues aux activités anthropiques. Cette dégradation entraîne leur régression ainsi que la disparition de la biodiversité qu'elles supportent (Darwall *et al.*, 2011). En effet, de nombreux animaux utilisent ces sites comme habitats pour tout ou une partie de leur cycle de vie. Parmi ceux-ci, les oiseaux d'eau sont de bons indicateurs biologiques de leur qualité et de l'état de leur conservation (Wetlands international, 2010). Par leur présence ou absence, les oiseaux d'eau donnent des informations fiables et pertinentes sur l'état des habitats (structure de la végétation, niveau de dégradation, abondance de proies, dérangement, etc.). Un suivi des populations de l'avifaune aquatique permettrait de détecter précocement les menaces sur les zones humides

avant qu'elles ne deviennent des catastrophes évidentes pour tous (Brimont *et al.*, 2008 ; Secrétariat de la Convention de Ramsar, 2010). C'est ainsi que l'avifaune aquatique des zones humides a fait l'objet de nombreux travaux à travers le monde entier (Schepers *et al.*, 1998 ; El Agbani *et al.*, 2009 ; Bensaci *et al.*, 2013).

En Côte d'Ivoire, les oiseaux d'eau sont de plus en plus documentés et font l'objet de plusieurs publications (Assé, 2007 ; Konan *et al.*, 2015 ; Yaokokoré-Béibro et Odoukpé, 2015). Toutefois, des lacunes demeurent pour certains sites clés comme la lagune Ebrié. Située au niveau du littoral ivoirien, elle constitue le plus grand système lagunaire de l'Afrique occidentale (Varlet, 1978 ; Yao *et al.*, 2009) et renferme une importante avifaune aquatique (Nando, 2010 ; Zago, 2014).

Ainsi, dans le but de disposer d'informations utiles pour une gestion durable et rationnelle de cet écosystème,

un suivi de l'avifaune aquatique s'impose. Pour ce faire, cette étude se propose d'identifier les espèces qui composent la communauté d'oiseaux d'eau de la lagune Ebrié et de déterminer les abondances de leurs différentes populations.

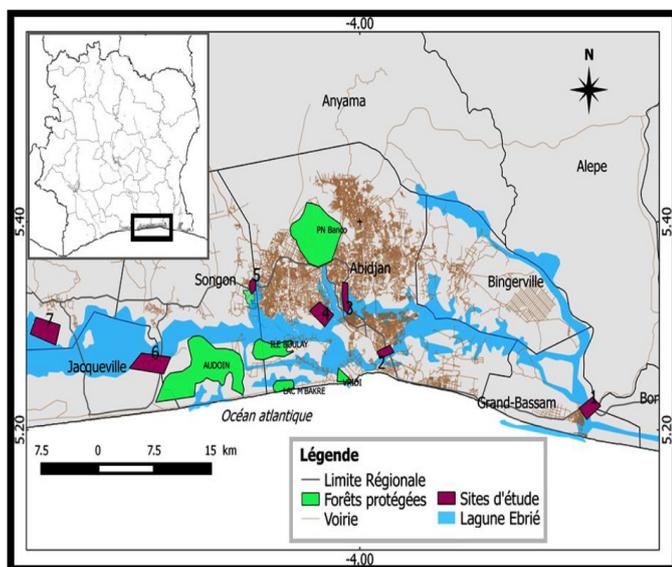
## MATERIEL ET METHODES

### Milieu d'étude

La lagune Ebrié d'une superficie de 566 km<sup>2</sup> est située dans la zone côtière de la Côte d'Ivoire entre 05°13' et 05°20' de latitude Nord puis entre 03°43' et 04°23' de longitude Ouest (Figure 1). Elle s'étend sur 125 Km, du canal d'Azagny, à l'Ouest (qui la fait communiquer avec le Bandama et la lagune de Grand-Lahou) à Grand-Bassam à l'Est, où elle se confond avec le débouché sur l'océan Atlantique du fleuve Comoé qui est actuellement fermé.

La lagune Ebrié subit un climat de type Subéquatorial caractérisé par une grande saison pluvieuse (GSP) d'avril à juillet, une petite saison pluvieuse (PSP) mi-septembre à fin novembre), une grande saison sèche (GSS) de décembre à mars et une petite saison sèche (PSS) de mi-juillet à mi-septembre (Brou, 1997). La pluviométrie moyenne annuelle est de 2155,85 mm avec des températures moyennes qui varient autour de 26,9 °C.

La région appartient au secteur littoral du grand domaine phytogéographique guinéen et est caractérisée par divers types de végétations marécageuses. Les forêts marécageuses à *Clappertonia ficifolia* et *Stipularia africana* se présentent sous la forme de longues bandes étroites parallèles au rivage lagunaire. La lagune est riche en hydrophytes, notamment *Nymphaea spp.*, *Neptunia oleracea*, *Nymphoides indica*, *Cyperus articulatus* etc. Les mangroves, à Palétuvier rouge *Rhizophora racemosa* et à Palétuvier blanc *Avicennia africana*, se trouvent sur les rives plates de la lagune (Guillaumet et Adjanohoun, 1971). La végétation est aussi caractérisée par les plantations de Cocotiers *Cocos nucifera*, de Palmiers à huile *Elaeis guineensis*, etc. Les activités humaines menées sur la lagune Ebrié sont principalement la pêche, l'extraction de sable, le transport, l'agriculture vivrière et le tourisme.



**Figure 1** : Localisation des sites d'étude

1 : Site de Moossou ; 2 : Site d'Ancien Koumassi ; 3 : Site de la Baie de Cocody ; 4 : Site d'Abobodoumé ; 5 : Site d'Adiopodoumé ; 6 : Site de Ndjem ; 7 : Site de Gbougbo.

### Collecte des données

Pour une meilleure couverture du milieu d'étude, 07 sites ont été identifiés en tenant compte de leur physionomie, de leur accessibilité et des activités anthropiques qui s'y déroulent. Ainsi, de l'Est à l'Ouest de la lagune, le site de Moossou, le site d'Ancien Koumassi, le site de la Baie de Cocody, le site d'Abobodoumé, le site d'Adiopodoumé, le site de Ndjem et le site de Gbougbo ont été retenus (Figure 1).

De janvier 2014 à décembre 2015, chaque site a été visité deux fois par mois entre 06h00 et 10h00. Cette tranche horaire correspond à une période d'activité maximale pour la majorité des espèces (Thiollay, 1973 ; Yaokokoré-Béibro, 2001). Les inventaires ont été effectués à pieds le long d'un transect itinérant d'environ 3 km marqué d'arrêts de 20 minutes à des endroits où le nombre d'oiseaux était important (Bibby *et al.* 1998).

Les observations des oiseaux ont été faites à la paire de jumelles (Taxco 10×25 binoculaires). Les espèces ont été identifiées selon leurs caractéristiques morphologiques et comportementales (chant, cri, vol) à l'aide du guide des Oiseaux de l'Afrique de l'Ouest (Borrow et Demey, 2008) pour les individus vus et à l'aide du CD-Rom des cris et chants des Oiseaux d'Afrique (Chappuis, 2000), pour ceux entendus. La liste des espèces a été faite selon l'ordre phylogénétique de Borrow et Demey (2001). Les noms scientifiques adoptés sont ceux de Bisby *et al.* (2018). Le statut de conservation est établi selon la liste rouge de l'UICN (2020) et le statut biogéographique selon Borrow et Demey (2008). L'habitat préférentiel (Bennun *et al.*, 1996 ; Yaokokoré-Béibro, 2001) et le biome (Fishpool et Evans, 2001) des espèces ont aussi été indiqués.

Le dénombrement a été fait selon la méthode proposée par Skinner *et al.* (1994). Le comptage a été effectué soit par individu pour les petits groupes et les individus entendus, soit par estimation de groupe de 10 à 100 individus, lorsque les oiseaux étaient en grand nombre.

La première année ayant permis d'avoir une bonne connaissance de la zone d'étude et des mœurs des espèces, seules les données de la seconde année sont présentées. La valeur maximale des deux visites par mois pour chaque espèce est retenue pour les différentes analyses statistiques. Les espèces observées ont été caractérisées à partir de leur fréquence relative. Selon Thiollay (1986), une espèce est dite : D (Dominante), lorsque sa fréquence relative est supérieure ou égale à 5% ; Re (Régulière), lorsque sa fréquence est comprise entre 1 et 4,9% ; Ra (Rare), lorsque sa fréquence est comprise entre 0,2 et 0,9% ; Ac (Accidentelle), lorsqu'elle représente moins de 0,2%. La fréquence relative (Fr), l'indice de diversité de Shannon-Wiener ( $H'$ ) et l'indice d'équitabilité ( $J$ ) ont été calculés à l'aide du logiciel Microsoft Excel 2010. Les formules mathématiques sont les suivantes :

$$Fr = \frac{(ni/N) \times 100}{\sum ni}$$
 avec  $ni$  : somme de tous les contacts avec l'espèce  $i$  dans l'ensemble des sites de dénombrement ;  $N$  :  $\sum ni$  : somme des contacts avec l'ensemble des espèces observées dans un habitat.

$$H' = - \sum \frac{(ni/N)}{S} \ln \frac{(ni/N)}{S}$$
 avec  $ni/N$  : abondance relative de l'espèce  $i$  dans le peuplement.

$$J = \frac{H'}{\ln S}$$
 avec  $H'$  : indice de Shannon-Wiener et  $\ln S$  : exprime la valeur maximale de  $H'$  ( $H'_{max}$ ), avec  $S$  = Nombre d'espèces.

## RESULTATS

## Composition spécifique du peuplement d'Oiseaux d'eau de la lagune Ebrié

Les observations effectuées sur l'ensemble des sept sites de la lagune Ebrié ont permis d'inventorier 47 espèces d'oiseaux d'eau appartenant à 36 genres, 16 familles et regroupées en 8 ordres (Tableau 1).

L'ordre des Charadriiformes est le plus diversifié avec 22 espèces d'Oiseaux d'eau regroupées en huit familles. L'ordre des Pélécaniformes suit avec 13 espèces regroupées en trois familles. Les autres ordres comptent, au plus, trois espèces du peuplement.

Les familles les plus représentées en oiseaux d'eau sont les Ardeidae avec 13 espèces et les Scolopacidae avec 10 espèces qui totalisent 70,21 % du nombre total d'espèces. Les autres familles comptent, au plus, quatre espèces et représentent 29,79 % du nombre d'espèce.

## Composition spécifique du peuplement d'Oiseaux d'eau selon les sites

L'étude a montré que les sites d'Ancien Koumassi, d'Adiopodoumé et de la Baie de Cocody sont les sites qui accueillent le plus grand nombre d'espèces d'oiseaux d'eau avec respectivement, 38 espèces (80,85 % de la richesse spécifique globale), 34 espèces (72,34 %) et 32 espèces (68,08 %). Ensuite viennent les sites de Moossou, Ndjem et Abobodoumé, avec respectivement 24 espèces (51,06 %), 22 espèces (46,80 %) et 20 espèces (42,55 %). Le site de Gbougbo avec 12 espèces est celui qui a la plus faible richesse spécifique soit 25,53 % des espèces d'oiseaux d'eau observées. Neuf espèces, soit 19,14 % du peuplement, sont communes aux sept sites ; Il s'agit du Cormoran africain *Microcarbo africanus*, du Bihoreau gris *Nycticorax nycticorax*, du Héron

garde-bœuf *Bubulcus ibis*, du Héron strié *Butorides striatus*, de l'Aigrette à gorge blanche *Egretta gularis*, de l'Aigrette intermédiaire *Egretta intermedia*, du Chevalier guignette *Actitis hypoleucos*, du Martin-pêcheur huppé *Alcedo cristata* et du Martin-pêcheur pie *Ceryle rudis*.

## Statut biogéographique du peuplement d'Oiseaux d'eau de la lagune Ebrié

Les oiseaux d'eau identifiés au niveau de la lagune Ebrié sont de différentes origines biogéographiques. Cependant, ils sont majoritairement des espèces à statut mixte (résidentes et migratrices) au nombre de 18 soit 38,30 % de la richesse spécifique globale. Les espèces strictement migratrices composées en majorité de limicoles comptent 16 espèces soit 31,91 % du peuplement. Elles sont généralement présentes d'octobre à mai (Tableau 1). Les espèces résidentes comptent 13 espèces soit 27,66 % du nombre total d'espèce.

## Espèce d'intérêt pour la conservation

Selon la liste rouge des espèces menacées de l'UICN, la sterne des Baleiniers *Sternula balaenarum* est une espèce vulnérable (VU) et le Courlis cendré *Numenius arquata* est une espèce quasi menacée (NT). Une espèce du biome des forêts Guinéo-congolaises, l'hirondelle à Bavette *Hirundo nigrita* G. R Gray, 1845, est présente au niveau de la lagune Ebrié au cours de la période d'étude.

## Abondance des populations d'Oiseaux d'eau de la lagune Ebrié.

Cette étude a permis de dénombrer au total 4969 individus d'oiseaux d'eau avec un effectif moyen mensuel de  $3042,42 \pm 302,93$  individus (Tableau 1). Cette abondance est relativement constante au cours de l'année. L'indice de Shannon ( $H'$ ) est de 2,22 avec une équitabilité de 0,57 sur l'ensemble de la lagune Ebrié.

Tableau 1 : Liste des oiseaux d'eau de la lagune Ebrié observés de janvier 2014 à décembre 2015

Jan. : Janvier ; Fév. : Février ; Juil. : Juillet ; Sep. : Septembre ; Oct. : Octobre ; Nov. : Novembre ; Déc. : Décembre ; SB : Statut Biogéographique ; R : Résident ; P : Migrateur du Paléarctique ; M Migrateur intra-africain ; E.Moy : Effectif Moyen mensuel ; Ec-ty : Ecart-type ; EMax : Effectif Maximum ; Fr : Fréquence relative (%) ; Cat. A : Catégories d'abondance ; D : Dominant ; Re : Régulier ; Ra : Rare ; Ac : Accidentel ; A05 : Forêt guinéo-congolaise ; VU : Espèce Vulnérable ; NT : Proche de la menace.

N°	Ordres/Familles/Espèces	Noms Français	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	SB	E.Moy ± EcTy	EMax	Fr	Cat.A
<b>SULIFORMES</b>																			
<b>Phalacrocoracidae</b>																			
1	<i>Microcarbo africanus</i> (Gmelin, 1789)	Cormoran africain	204	325	373	267	301	381	375	464	393	311	353	354	R	341,75 ± 66,69	464	9,34	D
<b>Anhingidae</b>																			
2	<i>Anhinga rufa</i> (Daudin, 1802)	Anhinga d'Afrique	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0	R	0,42 ± 0,9	3	0,06	Ac
<b>PELECANIFORMES</b>																			
<b>Ardeidae</b>																			
3	<i>Ixobrychus minutus</i> (Linné, 1766)	Blongios nain	1	3	2	3	7	5	1	4	3	2	2	4	R/P	3,08 ± 1,73	7	0,14	Ac
4	<i>Gorsachius leuconotus</i> (Wagler, 1827)	Bihoreau à dos blanc	0	0	2	0	2	0	1	0	0	0	0	0	R	0,42 ± 0,79	2	0,04	Ac
5	<i>Nycticorax nycticorax</i> (Linné, 1758)	Bihoreau gris	16	97	176	187	300	330	309	296	211	86	93	129	R/P	185,83 ± 104,62	330	6,64	D
6	<i>Ardeola ralloides</i> (Scopoli, 1769)	Crabier chevelu	42	61	79	61	84	61	40	76	90	39	27	70	R/P	60,83 ± 20,09	90	1,81	Re
7	<i>Bubulcus ibis</i> (Linné, 1758)	Héron garde-bœufs	924	1402	1150	1256	1069	1596	1346	1341	1593	1288	1302	1184	R/P	1287,58 ± 195,07	1596	32,12	D
8	<i>Butorides striatus</i> (Linné, 1758)	Héron strié	10	10	12	16	22	27	27	29	29	9	11	16	R	18,17 ± 8,1	29	0,58	Ra
9	<i>Egretta ardesiaca</i> (Wagler, 1827)	Aigrette ardoisée	77	35	94	167	59	41	50	24	7	26	103	121	R/M	67 ± 46,93	167	3,36	Re
10	<i>Egretta gularis</i> (Bosc, 1792)	Aigrette à gorge blanche	212	150	369	402	529	242	515	378	382	435	442	546	R/M	383,5 ± 126,31	546	10,99	D
11	<i>Egretta garzetta</i> (Linné, 1766)	Aigrette garzette	69	44	55	72	93	53	49	42	24	31	56	95	R/M	56,92 ± 22,06	95	1,91	Re
12	<i>Egretta intermedia</i> (Wagler, 1829)	Aigrette intermédiaire	40	48	32	30	60	50	35	39	40	18	17	14	R/M	35,25 ± 14,05	60	1,21	Re
13	<i>Ardea alba</i> Linné, 1758	Grand aigrette	28	51	79	40	34	11	1	0	2	5	1	14	R/M	22,17 ± 24,92	79	1,59	Re
14	<i>Ardea purpurea</i> Linné, 1766	Héron pourpré	4	0	0	0	0	1	0	0	2	0	1	0	R/P	0,67 ± 1,23	4	0,08	Ac
15	<i>Ardea cinerea</i> Linné, 1758	Héron cendré	49	50	67	11	3	4	4	3	9	13	26	32	R/P	22,58 ± 22,14	67	1,35	Re
<b>ANSERIFORMES</b>																			
<b>Anatidae</b>																			

N°	Ordres/Familles/Espèces	Noms Français	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	SB	E.Moy ± EcTy	EMax	Fr	Cat.A	
16	<i>Dendrocygna viduata</i> (Linné, 1766)	Dendrocygne veuf	110	3	12	82	38	11	16	15	0	23	49	44	R/M	33,58 ± 33,51	110	2,21	Re	
17	<i>Nettion auritus</i> (Boddaert, 1783)	Sarcelle à oreillons	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	R	0,08 ± 0,29	1	0,02	Ac	
<b>ACCIPITRIFORMES</b>																				
<b>Pandionidae</b>																				
18	<i>Pandion haliaetus</i> (Linné, 1758)	Balbuzard pêcheur	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	P	0,33 ± 0,49	1	0,02	Ac	
<b>GRUIFORMES</b>																				
<b>Rallidae</b>																				
19	<i>Amaurornis flavirostris</i> (Swainson, 1837)	Râle à bec jaune	19	10	27	17	13	12	14	10	10	5	6	5	R	12,33 ± 6,39	27	0,54	Ra	
20	<i>Porphyrio alleni</i> Thomson, 1842	Talève d'Allen	0	4	3	11	11	6	10	16	12	8	5	5	M/R	7,58 ± 4,54	16	0,32	Ra	
21	<i>Gallinula chloropus</i> (Linné, 1758)	Gallinule poule d'eau	8	5	10	15	28	9	30	35	36	22	19	8	R	18,75 ± 11,24	36	0,72	Ra	
<b>CHARADRIIFORMES</b>																				
<b>Jacaniidae</b>																				
22	<i>Actophilornis africana</i> (Gmelin, 1789)	Jacana à poitrine dorée	87	88	81	109	108	49	43	35	50	48	51	44	R	66,08 ± 26,68	109	2,19	Re	
<b>Rostratulidae</b>																				
23	<i>Rostratula benghalensis</i> (Linné, 1758)	Rhynchée peinte	1	1	4	9	5	0	0	0	0	0	0	3	R/M	1,92 ± 2,84	9	0,18	Ac	
<b>Recurvirostridae</b>																				
24	<i>Himantopus himantopus</i> (Linné, 1758)	Echasse blanche	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	R/P	0,25 ± 0,87	3	0,06	Ac	
<b>Burhinidae</b>																				
25	<i>Burhinus senegalensis</i> (Swainson, 1837)	Édicnème du Sénégal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	R/M	0,17 ± 0,58	2	0,04	Ac	
<b>Charadriidae</b>																				
26	<i>Charadrius hiaticula</i> Linné, 1758	Grand Gravelot	47	18	99	62	0	0	0	0	0	3	11	198	P	36,5 ± 59,94	198	3,98	Re	
27	<i>Pluvialis squatarola</i> (Linné, 1758)	Pluvier Argenté	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	P	0,33 ± 0,49	1	0,02	Ac	
28	<i>Vanelasmus spinosus</i> (Linné, 1758)	Vanneau à éperon	26	29	25	41	30	39	29	28	32	28	24	44	R	31,25 ± 6,54	44	0,89	Ra	
<b>Scolopaciidae</b>																				
29	<i>Calidris minuta</i> (Leisler, 1812)	Bécasseau Minute	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	P	0,17 ± 0,39	1	0,02	Ac	
30	<i>Philomachus pugnax</i> (Linné, 1758)	Combattant Varié	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	P	0,08 ± 0,29	1	0,02	Ac	
31	<i>Numenius phaeopus</i> (Linné, 1758)	Courlis corlieu	7	11	14	9	2	3	0	7	20	16	14	16	P	9,92 ± 6,3	20	0,40	Ra	
32	<i>Numenius arquata</i> (Linné, 1758) NT	Courlis cendré	4	0	1	0	1	1	0	1	0	1	3	0	P	1 ± 1,28	4	0,08	Ac	
33	<i>Tringa totanus</i> (Linné, 1758)	Chevalier gambette	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	P	0,25 ± 0,87	3	0,06	Ac	
34	<i>Tringa stagnatilis</i> (Bechstein, 1803)	Chevalier Stagnatile	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	P	0,08 ± 0,29	1	0,02	Ac	
35	<i>Tringa nebularia</i> (Gunnerus, 1767)	Chevalier Aboyeur	22	23	22	19	1	0	0	2	2	5	12	18	P	10,5 ± 9,71	23	0,46	Ra	
36	<i>Tringa glareola</i> Linné, 1758	Chevalier sylvain	32	56	130	52	3	0	0	22	17	13	69	96	P	40,83 ± 41,21	130	2,62	Re	
37	<i>Actitis hypoleucos</i> (Linné, 1758)	Chevalier guignette	104	101	103	74	0	0	4	50	104	132	137	110	P	76,58 ± 50,76	137	2,76	Re	
38	<i>Arenaria interpres</i> (Linné, 1758)	Tournepiere à collier	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	0,17 ± 0,58	2	0,04	Ac	
<b>Laridae</b>																				
39	<i>Larus fuscus</i> Linné, 1758	Goéland brun	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	P	0,17 ± 0,58	2	0,04	Ac	
<b>Sternidae</b>																				
40	<i>Thalasseus maxima</i> (Boddaert, 1783)	Sterne maxima	24	137	63	96	9	3	3	5	13	9	16	2	R/M	31,67 ± 43,83	137	2,76	Re	
41	<i>Thalasseus sandvicensis</i> (Latham, 1787)	Sterne Caugek	68	86	185	102	266	105	116	48	37	64	152	148	P	114,75 ± 65,12	266	5,35	D	
42	<i>Sternula balaenarum</i> (Strickland, 1853) VU	Sterne des Baleiniers	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	M	0,58 ± 2,02	7	0,14	Ac	
43	<i>Sternula albifrons</i> (Pallas, 1764)	Sterne naine	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	R/M/P	2,5 ± 8,66	30	0,60	Ra	
<b>CORACIIFORMES</b>																				
<b>Alcedinidae</b>																				
44	<i>Alcedo cristata</i> Pallas, 1764	Martin-pêcheur huppé	7	7	28	13	13	12	6	10	6	13	6	5	R	10,5 ± 6,35	28	0,56	Ra	
45	<i>Megaceryle maxima</i> (Pallas, 1769)	Martin-pêcheur Géant	2	7	3	2	1	0	0	1	1	1	2	0	R	1,67 ± 1,92	7	0,14	Ac	
46	<i>Ceryle rudis</i> (Linné, 1758)	Martin-pêcheur pie	33	48	65	50	34	31	25	33	39	51	46	55	R	42,5 ± 11,82	65	1,31	Re	
<b>PASSERIFORMES</b>																				
<b>Hirundinidae</b>																				
47	<i>Hirundo nigrita</i> G. R. Gray, 1845 A05	Hirondelle à Bavette	9	4	2	2	4	3	2	2	1	2	2	5	R	3,17 ± 2,17	9	0,18	Ac	
			<b>2290</b>	<b>2915</b>	<b>3372</b>	<b>3277</b>	<b>3131</b>	<b>3087</b>	<b>3081</b>	<b>3017</b>	<b>3178</b>	<b>2708</b>	<b>3063</b>	<b>3390</b>			<b>3042,42±302,93</b>	<b>4969</b>	<b>100</b>	

L'ordre le plus abondant est celui des Pélécianiformes avec 3072 individus et représente 61,82% du peuplement. Les ordres des Charadriiformes et des Suliformes sont moyennement représentés avec respectivement 1130 et 464 individus soit 22,74% et 09,33% du peuplement. Cependant, les ordres des Ansériformes, des Accipitriformes, des Gruiformes, des Coraciiformes et des Passeriformes sont faiblement représentés.

La famille la plus abondante est celle des Ardeidae avec un effectif de 3072 individus soit 61,82% du peuplement. Ensuite vient la famille des Phalacrocoracidae avec un effectif de 1130 individus soit 22,74% du peuplement. Les six autres familles ont des effectifs relativement faibles et constituent 15,44% du peuplement.

Sur l'ensemble des sites, les espèces les plus abondantes sont le Héron garde-bœuf *Bubulcus ibis* avec 1596 individus (Fr = 32,12%), l'Aigrette à gorge blanche *Egretta gularis* avec 546 individus (Fr = 10,99%), le Cormoran africain *Microcarbo africanus* avec 464 individus (fr = 09,34%), le Bihoreau gris *Nycticorax nycticorax* avec 330 individus (Fr = 6,64%) et la Sterne Caugek *Thalasseus sandvicensis* avec 266 individus (Fr = 5,35). Ces cinq espèces contribuent à 64,43% de l'abondance totale des individus relevés. Les autres espèces quant à elles, représentent, chacune, moins de 4% de l'abondance totale des individus.

Dans cette communauté d'oiseau d'eau, 13 espèces sont régulières et représentent 29,06% de l'abondance totale ; il s'agit notamment des espèces *Ardeola ralloides*, *Egretta*

*ardesiaca* et *Egretta garzetta*. Neuf espèces sont rares et contribuent à 5,09% de l'abondance totale. Ce sont *Butorides striatus*, *Amaurornis flavirostris*, *Porphyrio alleni*, *Gallinula chloropus*, *Vanellus spinosus*, *Numenius phaeopus*, *Tringa nebularia*, *Sternula albifrons* et *Alcedo cristata*.

Les espèces accidentelles au nombre de 20 contribuent à 1,41% de l'abondance totale ; ce sont entre autres *Anhinga rufa*, *Ixobrychus minutus*, *Gorsachius leuconotus*, *Ardea purpurea*, *Nettapus auritus* et *Pandion haliaetus*.

### Abondance et indices de diversité par site

Les effectifs d'Oiseaux d'eau les plus élevés ont été obtenus sur les sites d'Ancien Koumassi et de Moossou avec respectivement 2272 individus soit 32,81% du nombre total d'individus et 1811 individus soit 26,15% du peuplement. Ensuite, viennent les sites de la Baie de Cocody et d'Abobodoumé avec respectivement 1089 individus (15,73% du peuplement) et 1014 individus (14,64% du peuplement). Les sites d'Adiopodoumé, Ndjem et Gbougbo quant à eux ont enregistré les plus faibles effectifs d'oiseaux d'eau (Tableau 2).

L'analyse des indices de diversité de Shannon-Weaver montre que les sites d'Adiopodoumé ( $H'=2,87$ ) et de la Baie de Cocody ( $H'=2,62$ ) sont les plus diversifiés. Ils sont suivis par les sites d'Ancien Koumassi ( $H'=2,2$ ), Ndjem ( $H'=1,9$ ) et Moossou ( $H'=1,33$ ). En revanche, les sites de Gbougbo ( $H'=1,24$ ) et d'Abobodoumé ( $H'=1,23$ ) sont les moins diversifiés (Tableau 2). Par ailleurs, l'analyse de l'équitabilité révèle que les espèces ont presque la même abondance dans les sites d'Adiopodoumé et de la Baie de Cocody. Par contre, à Gbougbo, Moossou et Abobodoumé, la quasi-totalité des effectifs est concentrée sur un petit nombre d'espèces (Tableau 2).

## DISCUSSION

Au terme de cette étude, 47 espèces d'oiseaux d'eau, d'une

**Tableau 2 : Bilan global des observations d'Oiseaux d'eau sur les sites**

	Moossou	Ancien Koumassi	Baie de Cocody	Abobodoumé	Adiopodoumé	N'djem	Gbougbo
NE	24	38	32	20	34	22	12
Ab	1811	2272	1089	1014	312	248	177
H'	1,33	2,2	2,62	1,23	2,87	1,9	1,24
J	0,41	0,60	0,74	0,41	0,81	0,61	0,49

abondance relative de 4969 individus, ont été inventoriées au niveau de la lagune Ebrié. Ce résultat fondamental serait plus important si l'extrême ouest du plan d'eau lagunaire avait pu être échantillonné. Toutefois, il donne manifestement un aperçu de l'importance de la lagune Ebrié pour la communauté d'oiseaux d'eau qui s'y trouve. En effet, la composition spécifique et l'abondance de ces oiseaux semblent indiquer qu'ils y trouvent des ressources nécessaires pour leur survie. Par ailleurs, la présence d'espèces inscrites sur la liste rouge de l'UICN et d'espèces migratrices indique probablement que la lagune Ebrié est un site d'intérêt pour la conservation des oiseaux d'eau. En plus, on y trouve une espèce du biome des forêts Guinéo-congolaises sur les 188 rencontrées en Côte d'Ivoire (Fishpool et Evans, 2001).

L'analyse des indices de diversité montre que cette communauté d'oiseaux d'eau de la lagune Ebrié est fortement dominée par quelques espèces, notamment le Héron garde-bœuf *Bubulcus ibis*, l'Aigrette à gorge blanche *Egretta gularis*, le Cormoran africain *Microcarbo africanus* et le Bihoreau gris *Nycticorax nycticorax*. Ces espèces, assez

communes et réparties sur l'ensemble du territoire ivoirien (Borrow et Demey, 2008), sont opportunistes et en pleine expansion (Cook, 2008 ; Yaokokoré-Béibro et Odoukpé, 2015). Elles exploitent la végétation aquatique des lagunes qui leur sert d'abri, de lieu d'alimentation et de reproduction (Kouassi, 2005). En effet, leurs populations forment, le long de la lagune, d'importantes colonies nicheuses mixtes dont la plus remarquable est celle du pont de Moossou (Yaokokoré-Béibro *et al.*, 2010 ; Yaokokoré-Béibro et Odoukpé, 2015). En outre, la plupart de ces espèces affectionnent les milieux envasés et riches en déchets ménagers. Effectivement, la lagune Ebrié subit ces dernières années les phénomènes d'eutrophisation et d'ensablement dus essentiellement aux déversements abusifs d'eaux résiduaires et aux ruissellements d'eaux pluviales (Yao *et al.*, 2009 ; Soro *et al.*, 2009). En dépit de cette pollution, la lagune Ebrié constituerait une zone de transit d'oiseaux d'eau vu le grand nombre d'espèces accidentelles rencontrées.

Au cours de l'année, l'abondance de cette communauté d'oiseaux d'eau varie relativement peu sur l'ensemble de la lagune. La plupart des espèces, qui la constituent, ont une population partiellement ou intégralement résidente en Côte d'Ivoire (Borrow et Demey, 2008). Celle-ci présente également une grande diversité sur les sites d'Adiopodoumé et de la Baie de Cocody. Contrairement aux autres sites, les sites d'Adiopodoumé et de la Baie de Cocody disposent d'une grande diversité d'habitats qui subissent moins de pressions anthropiques. Les perturbations de l'habitat influencent fortement le comportement des oiseaux d'eau et peuvent provoquer une réaction d'évitement (BirdLife International et Wetlands International, 2016).

Les résultats obtenus au cours de cette étude sont semblables à ceux des travaux réalisés à Grand-Bassam (Yaokokoré-Béibro et Odoukpé, 2015 ; Yaokokoré-Béibro *et al.* 2015) et à Yamoussoukro (Konan *et al.*, 2015). Cette similitude, de plus de 60 % de la composition spécifique, pourrait s'expliquer par l'uniformité des communautés d'oiseaux des zones forestières et pré forestières de la Côte d'Ivoire. De plus, les milieux aquatiques prospectés au cours de ces travaux présentent quelques caractéristiques écologiques identiques (faible écoulement des eaux, milieux anthropisés, etc.) et sans occulter que les travaux réalisés à Grand-Bassam couvraient en partie la portion Est de la lagune Ebrié.

Comparés à des études similaires, réalisées dans la dépression d'Oued Righ en Algérie (Bensaci *et al.*, 2013), dans le complexe des zones humides de Smir au Maroc (El Agbani *et al.*, 2009) et dans le Delta du Sine-Saloum au Sénégal (Schepers *et al.*, 1998), les résultats indiquent que la lagune Ebrié semble moins riche. Cette différence est due au grand nombre d'espèces hivernantes et/ou migratrices que ces sites accueillent. Par ailleurs, la constante modification et la persistante pollution, que subit le plan lagunaire Ebrié, seraient la cause du faible nombre d'espèces rencontrées (Yao *et al.*, 2009).

## CONCLUSION

La lagune Ebrié abrite une avifaune aquatique, riche de 47 espèces, majoritairement dominée par les oiseaux d'origine biogéographique mixte. Cette communauté d'oiseaux d'eau compte 4969 individus principalement répartis entre les populations de Héron garde-bœuf *Bubulcus ibis*, d'Aigrette à gorge blanche *Egretta gularis*, de Cormoran

africain *Microcarbo africanus*, de Bihoreau gris *Nycticorax nycticorax* et de Sterne Caugek *Thalasseus sandwicensis*. Des espèces figurant sur la liste rouge de l'UICN (espèces vulnérables et quasi menacées) et des espèces migratrices du paléarctique y ont été signalées. Ces résultats montrent que la lagune Ebrié est un site d'intérêt pour la conservation qui mérite d'être mieux géré.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Assé A.F., 2007.** Importance des lacs urbains de Yamoussoukro dans la conservation des oiseaux d'eau en Côte d'Ivoire. *Ostrich*, 78 (2): 523-525.

**Bennun L., Dranzoa C. & Pomeroy D., 1996.** The forest birds of Kenyan and Uganda. *Journal of East African Natural History*, 85: 23-48.

**Bensaci E., Saheb M., Nouidjem Y., Bouzegag A., & Houhamdi M., 2013.** Biodiversité de l'avifaune aquatique des zones humides sahariennes : cas de la dépression d'Oued Righ (Algérie). *Physio-Géo*, 7 (1): 211-222.

**Bibby F., Martin J. & Marsden S., 1998.** Birds survey in expedition field techniques. Royal Geographical Society, London: 35-52.

**BirdLife International & Wetlands International, 2016.** Manuel de terrain pour le suivi des oiseaux d'eau et la gestion des zones humides côtières en Afrique de l'Ouest. Wetlands International, Dakar, 121 p.

**Bisby, F., Roskov, Y., Orrell, T., Nicolson, D., Paglinawan, L., Bailly, N., Kirk, P., Bourgoin T. & Hertum, J.V., 2018.** Catalogue of Life : 20018 Annual Checklist. Species 2000 & IT IS, Reading.

**Borrow N. & Demey R., 2001.** Birds of Western Africa. HELM Identification guides, Royaume-Uni, Londres, 800 p.

**Borrow N. & Demey R., 2008.** Guide des Oiseaux de l'Afrique de l'Ouest. Delachaux et Niestlé, Paris, 510 p.

**Brimont F., Frochot B., Vanappelghem C., Hildebrand C., Foucault B. & Fourdin H., 2008.** Les Oiseaux, reflets de la qualité des zones humides. Les cahiers techniques d'espaces naturels régionaux, Nord-pas de Calais, 40 p.

**Brou Y., 1997.** Analyse et dynamique de la pluviométrie dans le Sud forestier ivoirien : recherche de corrélation entre les variables climatiques et les variables liées aux activités anthropiques. Thèse de 3e cycle, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 211 p.

**Chappuis C., 2000.** African Birds sound: Birds of North, West and Central Africa. Livrette et 15 CD. Société Ornithologique de France.

**Cook T.R., 2008.** Ecologie des oiseaux plongeurs (*Phalacrocorax spp.*) : réponses psychophysiologiques, comportementales et sexuelles aux variations de l'environnement. Thèse de Doctorat, Université de La Rochelle, 249 p.

**Darwall, W., Smith, K. & Allen, D., 2011.** La diversité de la vie dans les eaux douces africaines : sous l'eau, sous la menace. Une analyse de l'état et de la répartition des espèces d'eau

douce sur le continent africain. Gland, Suisse et Cambridge, Royaume-Uni : Union internationale pour la conservation de la nature et des ressources naturelles.

**El Agbani M.A., Quinba A., Amezian M., Cuzin F. & Dakki M., 2009.** Le peuplement d'oiseaux d'eau du complexe des zones humides de Smir (Nord du Maroc) : état actuel, intérêt patrimonial et évolution depuis les quatre dernières décennies. *Bulletin de l'institut Scientifique, Rabat, section de la vie*, 31(2) : 103-110.

**Fishpool L.D. & Evans M.I., 2001.** Important Birds areas in Africa of associated islands. BirdLife International, Cambridge, CD-ROM.

**Fustec E. & Lefeuvre J.C., 2000.** Fonctions et valeurs des zones humides. Durand, Paris, 425 p.

**Guillaumet J.-L. et Adjanohoun E., 1971.** La végétation de la Côte d'Ivoire. In : Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Paris, Mémoire ORSTOM, 50 : 157-263.

**Konan E.M., Yaokokoré-Béibro K.H. & Odoukpé K.S.G., 2015.** Richesse spécifique et abondance des oiseaux des dix Lacs Urbains de la ville de Yamoussoukro, dans le centre de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 10 (1) : 217-225.

**Kouassi A.M., 2005.** Hydrochimie et qualité des eaux de deux lagunes tropicales de Côte d'Ivoire (Ebrié, Grand Lahou). Thèse de Doctorat, Université de Cocody, Abidjan, 147 p.

**Nando O.N., 2010.** Avifaune d'une colonie nicheuse et du milieu environnant dans la zone humide d'importance internationale de Grand-Bassam (Sud-Est Côte d'Ivoire). DEA Ecologie Tropicale, Université de Cocody-Abidjan, 42 p.

**Schepers F.J., Keijl G.O., Meininger P. L. & Rigoulot J.B., 1998.** Oiseaux d'eau dans le Delta du Sine-Saloun et Petit Côte, Sénégal. WIWO-report 60, 240 p.

**Secrétariat de la Convention de Ramsar, 2010.** Inventaire des zones humides : Cadre Ramsar pour l'inventaire et la description des caractéristiques écologiques des zones humides. Manuels Ramsar pour l'utilisation rationnelle des zones humides 4(15). Secrétariat de la Convention de Ramsar, Gland, Suisse, 84 p.

**Skinner J., Beaumont N. & Pirot J.-Y., 1994.** Manuel de formation à la gestion des zones humides tropicales. UICN, Gland, Suisse, 272 p.

**Soro, G., Metongo, B.S., Soro, N., Ahoussi, E.K., Kouamé, K.F., Zade S.G.P., & Soro, T., 2009.** Métaux lourds (Cu, Cr, Mn et Zn) dans les sédiments de surface d'une lagune africaine : cas de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3: 1408-1427.

**Thiollay J.M., 1973.** Ecologie de migrants tropicaux dans une zone pré forestière de Côte d'Ivoire. *La terre et la vie*, 27: 268-296.

**Thiollay J.M., 1986.** Structure comparée du peuplement avien des trois sites de forêt primaire en Guyane. *La terre et la vie*, 41: 59-105.

**UICN, 2020. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2020.1.** www.iucnredlist.org. Consulté le 20. Mars.

2020 Disponible sur : <https://www.iucn.org/theme/species/our-work/iucn-red-list-threatened-species>

**Varlet F., 1978.** Le régime de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire) : traits physiques essentiels. Paris, ORSTOM, 2 (83), 164 + 70 p.

**Wetlands International, 2010.** Guide méthodologique pour le suivi des oiseaux d'eau : Protocole de terrain pour le comptage des oiseaux d'eau. Rapport, 15 p.

**Yao K.M., Métongo B.S. Trokourey A. & Bokra Y., 2009.** La pollution des eaux de la zone urbaine d'une lagune tropicale par les matières oxydables (lagune Ebrié, Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3(4): 755-770.

**Yaokokoré-Béibro K.H. & Odoukpé K.S.G., 2015.** Dynamique du peuplement d'oiseaux d'eau des rizières de la zone humide de Grand-Bassam (Côte d'Ivoire). *Alauda*, 83 (4) : 255-262

**Yaokokoré-Béibro K.H., 2001.** Avifaune des forêts classées

de l'Est de la Côte d'Ivoire : Données sur l'écologie des espèces et effet de la déforestation sur les peuplements. Cas des forêts classées de la Béki et de la Bossématié (Abengourou). Thèse de Doctorat Unique, Université de Cocody, Côte d'Ivoire, 245 p.

**Yaokokoré-Béibro K.H., Gueye M.F., Koné Y.S. & Odoukpé K.S.G., 2015.** Biodiversité urbaine des Oiseaux dans la Zone humide d'Importance Internationale de Grand-Bassam (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 11 (2) : 339-349

**Yaokokoré-Béibro K.H., N'Guessan A.M., Odoukpé K.S.G, Zouzou M. & N'Douba V., 2010.** Premières données sur les oiseaux de la zone humide d'importance internationale de Grand-Bassam (Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4(6) : 2169 – 2180.

**Zago H.M., 2014.** Avifaune de la baie de Cocody (Abidjan). Mémoire de Master de Biodiversité et Gestion des Ecosystèmes. Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire, 46 p.

# Influence du niveau d'entretien des parcelles de cacaoyers et du taux de couverture foliaire sur le développement de la pourriture brune des cabosses à Petit-Bondoukou, Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire.

*Titre court : Influence de l'entretien des parcelles et de la couverture foliaire sur la pourriture brune des cabosses*

Franck Zokou Oro<sup>\*±1</sup>, Hermann-Desiré Lallie<sup>2</sup>, Gaston Koffi Kouamé<sup>1</sup>, Junior Konan<sup>1</sup> and Hortense Atta Diallo<sup>3</sup>

## Résumé

L'objectif de ce travail était de déterminer l'influence du niveau d'entretien des parcelles et du taux de couverture foliaire des cacaoyers sur le développement de la pourriture brune. L'étude a été conduite à Petit Bondoukou, dans le département de Soubré, au sud-ouest de la Côte d'Ivoire. L'étude prospective a consisté à faire un échantillonnage sur quatre plots, dans lesquels dix cacaoyers atteints de pourritures ont été observés. Pour chaque arbre test, deux échantillons de cabosses pourries ont été prélevés pour constituer les données moléculaires afin d'identifier les différentes espèces de *Phytophthora sp.* Les variables épidémiologiques sont relatives au nombre total de cabosses sur chaque arbre test, au nombre de cabosses pourries, au taux de couverture foliaire de chaque arbre test et au niveau d'entretien de la parcelle test. L'analyse comparative de la prévalence de la pourriture brune en fonction du taux de couverture foliaire a montré une relation significative. Les résultats de l'analyse moléculaire ont permis d'identifier la présence de *Phytophthora palmivora* sur le site de Petit Bondoukou. Les résultats de l'analyse statistique ont montré que le niveau d'entretien des parcelles et le taux de couverture foliaire des cacaoyers sont des facteurs épidémiologiques qui expliquent le développement de la pourriture brune à Petit Bondoukou.

**Mots clés : Cacaoyers, niveau d'entretien, taux de couverture foliaire, pourriture brune, Côte d'Ivoire.**

## Abstract

The objective of this work was first to identify the different *Phytophthora* species responsible for the cocoa black pods disease, then to determine the influence of maintenance level of plot and the rate of cover foliar of cocoa trees. The study was conducted in Petit Bondoukou, in the department of Soubré, southwest of Côte d'Ivoire. The prospective study consisted of sampling on four plots, in which ten cocoa trees affected by black pods disease were observed. For each test tree, two samples of black pods were sampled to constitute molecular data in order to identify the different species of *Phytophthora sp.* The epidemiological variables relate to the total number of pods on each test tree, the number of black pods, the leaf cover rate of each test tree and the maintenance level of the test plot. Comparative analysis of the prevalence of black pods disease as a function of foliar cover rate showed a significant relationship. The results of the molecular analysis made it possible to identify the presence of *Phytophthora palmivora* at the Petit Bondoukou site. The results of the statistical analysis showed that the maintenance level of plot and foliar cover rate of cocoa trees are epidemiological factors that explain the development of black pods disease at Petit Bondoukou.

**Key-words: Cocoa trees, maintenance level, rate cover foliar, black pods disease, Côte d'Ivoire.**

<sup>1</sup>Département de biologie végétale, Unité de Formation et de Recherche (UFR) des Sciences Biologiques, Université Peleforo GON COULIBALY. BP 1328 Korhogo

<sup>2</sup>Département de biochimie-génétique, Unité de Formation et de Recherche (UFR) des Sciences Biologiques, Université Peleforo GON COULIBALY. BP

1328 Korhogo.

<sup>3</sup>Unité de Recherche en Phytopathologie, Département de Protection de Végétaux et de l'Environnement, Université Nangui Abrogoua.

02 BP 801 Abidjan 02

Corresponding author: ([franckoro@yahoo.fr](mailto:franckoro@yahoo.fr)) Téléphone: 00 225 58861510

## INTRODUCTON

Le cacaoyer (*Theobroma cocoa L.*) est une plante pérenne tropicale de la famille des Malvaceae (Motamayor et al., 2002) anciennement classée dans la famille des Sterculiaceae (Metcalfé et Chalk, 1950). Le cacaoyer est originaire d'Amérique du sud et son centre d'origine se situe dans le bassin amazonien (Motamayor et al., 2002). La culture cacaoyère a été introduite dans divers pays d'Afrique de l'Ouest comme le Ghana, le Cameroun, le Nigeria, le Togo et la Côte d'Ivoire où d'importantes plantations ont été créées (Janny et al., 2003). L'extension des vergers cacaoyers en Côte d'Ivoire a été liée à la disponibilité foncière et à une politique de prix rémunérateur attractif. C'est la raison pour laquelle la Côte d'Ivoire est le premier producteur mondial de cacao depuis 1977 (Tano, 2012). Cette culture a donc une grande importance dans l'économie ivoirienne ou elle représente 40% des recettes d'exportation et contribue à hauteur de 15% du produit intérieur brut (PIB) (Tano, 2012) avec une production

annuelle de plus 1,5 million de tonnes (Serges, 2014). Toutefois, ces importants acquis socio-économiques liés à la production du cacao en Côte d'Ivoire ne doivent pas faire perdre de vue les nombreuses contraintes liées aux maladies, aux ravageurs et à la fluctuation des prix du marché (Freud et al., 2000). Les conséquences engendrées par ces contraintes sont la baisse de la production et l'augmentation de la pauvreté en milieu rural. En Côte d'Ivoire, la pourriture brune des cabosses et le Swollen shoot sont les deux principales maladies qui menacent fortement la production du cacao.

En Côte d'Ivoire, la pourriture brune des cabosses due à *Phytophthora spp* cause d'importants dégâts de l'ordre de 44% de pertes de récoltes (Kouakou et al., 2014). Dans les zones les plus favorables à la maladie, les pertes peuvent atteindre 80% de la récolte (Koua et al., 2018). La pourriture brune des cabosses est une maladie fongique provoquée par *Phytophthora sp.*, dont les espèces les plus connues sont *Phytophthora palmivora* et *Phytophthora megakarya* (Kébé et al., 2009). En Côte

d'Ivoire, le *Phytophthora megakarya* qui n'existait pas dans les plantations cacaoyères commence aussi à se propager de manière importante. Cette espèce est la plus agressive (Brasier et Griffin, 1979) contrairement à *P. palmivora* qui est le moins agresseur et l'espèce la plus répandue. De plus la prévalence de *P. megakarya* est mal connue en Côte d'Ivoire, car plusieurs facteurs sont responsables du développement de la pourriture brune des cabosses (Akrofi, 2015). Il s'agit des facteurs de dispersion de la maladie qui comprennent les insectes, divers animaux dont les rongeurs et aussi l'homme. Cependant, la maladie de la pourriture brune des cabosses se propage plus vite quand l'humidité est importante. En effet, celle-ci est favorisée par un ombrage dense lorsque la densité de plantation est forte ou lorsqu'il y a dans la parcelle une forte présence des arbres d'ombrage avec un enherbement très important ou la proximité d'un cours d'eau (CCC, 2015). Par ailleurs, des études réalisées par Gidoïn (2013) au Cameroun ont révélé que l'abondance des arbres d'ombrage autre que les cacaoyers et la densité élevée en cacaoyers favorisent le développement de la pourriture brune des cabosses et l'installation des insectes ravageurs.

L'objectif général de cette étude est donc de déterminer l'influence du niveau d'entretien des parcelles et le taux de couverture foliaire des cacaoyers sur le développement de la pourriture brune des cabosses de cacao. Il s'agit plus spécifiquement d'identifier d'abord les différentes espèces de *Phytophthora sp* responsables de la pourriture brune, ensuite de déterminer la relation entre la prévalence de la pourriture brune et le niveau d'entretien des parcelles d'une part, et enfin d'établir la relation entre la prévalence de la pourriture brune et le taux de couverture foliaire des cacaoyers.

**Matériel et méthode**

**Zone d'étude**

Cette étude est conduite à Petit Bondoukou, dans le département de Soubré (Figure 1). Le département de Soubré est une zone forestière dont la végétation est essentiellement dominée par la forêt dense avec un sol profond, perméable et bien drainé pouvant répondre donc à tout type de culture et particulièrement la culture de cacaoyers. La région de la Nawa (département de Soubré) constitue la première zone cacaoyère de la Côte d'Ivoire avec un climat de type équatorial localement appelé « climat attiéen » (N'Guettia, 2015). Ce climat est caractérisé par de fortes précipitations qui oscillent selon l'année et le lieu entre 1400 mm et 1600 mm de pluie. L'humidité atmosphérique est élevée (90%) avec une faible variation annuelle d'amplitude thermique (28°C) et une alternance d'une longue saison pluvieuse et d'une courte saison sèche (N'Guettia, 2015). Cette région est menacée par les deux plus grandes maladies de la culture cacaoyère, à savoir, le Swollen shoot et la pourriture brune des cabosses du cacao. Ces deux fléaux font baisser la production cacaoyère de cette région.

**Méthodes**

**Dispositif expérimental**

L'expérimentation a eu lieu sur des plantations paysannes de cacao à partir des enquêtes de prospection pour avoir les données relatives à *Phytophthora sp*. Les enquêtes ont été réalisées suivant le protocole LDSF (Land Degradation Surveillance Framework) (Diby et al., 2014). Le LDSF a été mis au point

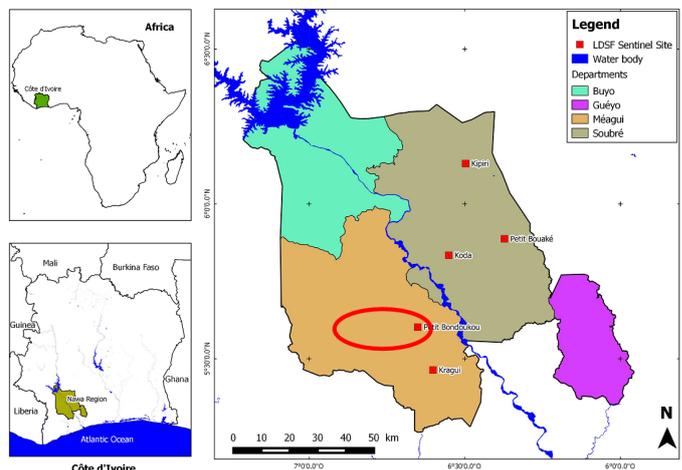


Figure 1 : Carte de la zone d'étude (Diby et al., 2014).



Figure 2 : Matériel de collecte de données (Photo prise par Koigny Juslin)

par des chercheurs de l'ICRAF Nairobi pour suivre au niveau de toute l'Afrique de l'Ouest les sols propices à l'agriculture. Ce protocole a été adapté dans le cadre de cette étude pour des enquêtes épidémiologiques de la pourriture brune causée par *Phytophthora sp*. Le dispositif LDSF représente un site sentinelle de 10 Km × 10 Km. Le site est divisé en 16 Clusters de 2,5 Km × 2,5 Km (Figure 3). Chaque cluster comprend plus de 100 points d'observation, appelés plots. Autour du point, une zone d'observation de 300 mètres de rayon a été délimitée pour la collecte de données épidémiologiques de la pourriture brune (Figure 4). Dans le cas de cette étude, les enquêtes ont été réalisées uniquement dans quatre (04) plots sur le site de Petit-Bondoukou.

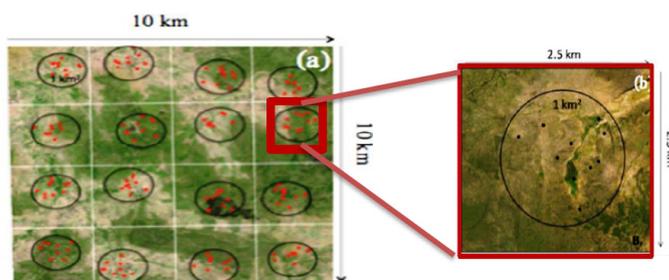


Figure 3 : Dispositif Land Degradation Surveillance Framework (LDSF) (Diby et al., 2014)

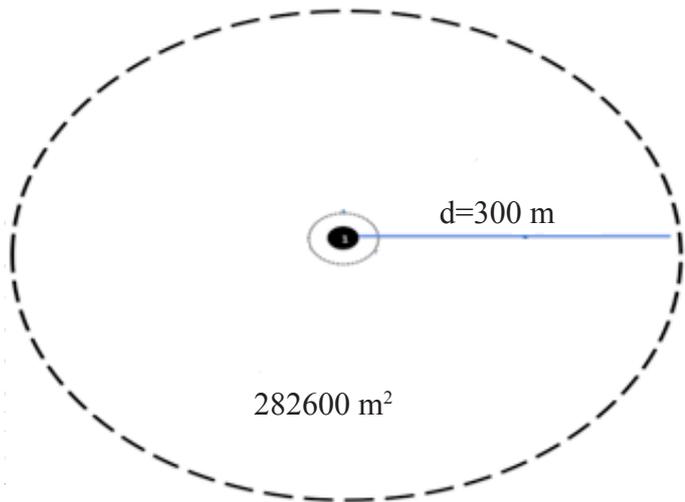


Figure 4 : Zones d'observation et de collecte des données de *Phytophthora sp* (Diby et al., 2014)



Figure 5 : Cabosses de cacao au champ avec symptômes de pourriture brune (Photos prises par Koigny Juslin)



Figure 6 : Prélèvement d'échantillon de cabosses et conditionnement de cabosses pourries. (A) Echantillonnage d'explants de cabosses pourries, (B) Mis en culture temporaire sur milieu favorable à *Phytophthora sp* (Photos prises par Koigny Juslin).

#### Collecte des données *Phytophthora*

Les observations sont réalisées dans un rayon de 300 m du plot, où dix (10) cacaoyers au moins portant des symptômes de pourriture brune ont été échantillonnés (Figure 5). Pour chaque arbre test, le nombre total de cabosses a été dénombré, ainsi que le nombre de cabosses atteintes de la pourriture brune. Ces données ont constitué les données épidémiologiques. Pour les données moléculaires, au moins deux échantillons de cabosses pourries ont été prélevés sur chaque arbre test. Ces cabosses pourries ont été, conditionnées dans du papier journal pour ralentir le développement de *Phytophthora sp*, puis étiquetées

avec un code identifiant. Une fois au laboratoire, les échantillons de cabosses pourries ont fait l'objet d'une coupe transversale suivant le front de progression de la tâche de pourriture (Figure 6A), puis un petit morceau du cortex pourri (explant) a été prélevé et conditionné dans un tube eppendorf en présence d'un milieu de culture favorable au développement de *Phytophthora sp* (Figure 6B). Les différents tubes ont été étiquetés avec les codes correspondant à l'identifiant de l'échantillon de cabosse. Ces données ont été consignées dans une fiche d'enquête de terrain préalablement conçue pour constituer des données physiques. Pour chaque arbre test, les coordonnées géographiques (Latitude, Longitude) ont été relevées pour constituer des données cartographiques.

#### Collecte des données de pratique culturale

Les données de pratique culturale sont relatives au niveau d'entretien du plot et au taux de couverture foliaire des arbres tests. Le niveau d'entretien est une donnée qualitative qui est caractérisé par le désherbage du plot et l'égourmandage des cacaoyers. Cette donnée est à deux modalités : soit le plot est entretenu ou non entretenu. Le taux de couverture foliaire est une variable qualitative à trois modalités : le taux de couverture faible, le taux de couverture moyen et le taux de couverture fort. Le taux de couverture faible est caractérisé par un arbre qui présente un aspect chétif et un faible ombrage. Les arbres à couverture faible sont moins productifs et ont tendance à perdre leurs feuilles tout au long de la saison. Par contre, le taux de couverture fort est représenté par des arbres avec un fort ombrage et une couronne couvrante. Ces arbres sont également apparemment sains et très productifs. A l'intermédiaire du taux de couverture faible et du taux de couverture fort, se situe les arbres à taux de couverture moyenne.

#### Détermination de la prévalence de la pourriture brune

La prévalence de la pourriture brune est obtenue à partir du ratio entre le nombre de cabosses pourries et le nombre total de cabosses sur l'arbre dans le plot, selon l'équation 1. Par ailleurs, la prévalence de la pourriture brune de chacune des espèces de *Phytophthora* a également été déterminée à partir du ratio entre le nombre de cabosses infectées par chaque espèce et le nombre total de cabosses échantillonnées sur le site. Cette prévalence a été obtenue selon l'équation 2.

$$(1) \quad P \text{ Phyto } (\%) = \frac{\text{Nombre de cabosses pourries}}{\text{Nombre total de cabosses échantillonnées}} \times 100$$

$$(2) \quad P \text{ Phyto sp } (\%) = \frac{\text{Nombre de cabosses infectées par l'espèce}}{\text{Nombre total de cabosses échantillonnées sur le site}} \times 100$$

P Phyto : Prévalence de la pourriture brune

P Phyto sp : Prévalence de chaque espèce de *Phytophthora*

#### Analyse moléculaire et identification des espèces de *Phytophthora sp*

L'analyse moléculaire des données de pourriture brune des cabosses a été réalisée à l'Unité Mixte de Recherches Biologie et Génétique des Interactions Plante-Parasite du CIRAD à Montpellier en France. Cette analyse a permis d'identifier les différentes espèces de *Phytophthora*. Après un diagnostic sur la base des symptômes de la pourriture brune au champ, un

prélèvement de petits morceaux de cortex de cabosses pourries est effectué à partir d'une coupe transversale. Ces explants de cabosses sont conditionnés dans des tubes eppendorf en milieu favorable à *Phytophthora sp.* Chaque cacaoyer échantillonné a été géolocalisé avec le GPS Garmin. Au laboratoire, les explants échantillonnés ont été cultivés en boîte de Pétri sur le milieu "V8", qui se compose d'un 1/10 de cocktail de jus de légumes, gélose à 15g/L et CaCO<sub>3</sub> à 3g/L pendant 4 jours dans l'obscurité, à 25°C. Après 4 jours, les implants d'agar contenant du *Phytophthora* mycélium ont été retirés du front de croissance fongique avec un scalpel puis repiqués dans le milieu V8 dans les mêmes conditions décrites ci-dessus pendant 7 jours. Le mycélium résultant est utilisé pour l'extraction d'ADN. Dans le cas où les souches sont contaminées par d'autres champignons, plusieurs transplantations sur milieu de culture H<sub>2</sub>O-Agar à 15g/L ont été nécessaires pour purifier la souche. Après purification, la souche est à nouveau cultivée sur le milieu "V8" à 25°C pendant 4 jours puis 7 jours à l'obscurité pour obtenir un mycélium typique de *Phytophthora sp.* Le mycélium obtenu après purification est utilisé pour l'extraction d'ADN. L'identification des différentes espèces de *Phytophthora* a été réalisée par PCR (Polymerase Chain Reaction) avec des amorces ITS spécifiques à chaque espèce (*P. megakarya* et *P. palmivora*).

### Analyse statistique

L'analyse statistique a d'abord décrit les données de la variable quantitative c'est-à-dire la prévalence de la pourriture brune et des variables qualitatives mesurées sur le terrain (niveau d'entretien des parcelles tests et le taux de couverture foliaire des cacaoyers). Ensuite, l'analyse comparative a permis d'évaluer la relation entre la prévalence de la pourriture brune et les variables qualitatives. La description des données de prévalence de la pourriture brune a permis de déterminer les paramètres de la statistique de base afin de comprendre l'évolution et la dispersion de cette variable. Ensuite, pour les variables qualitatives, les différentes proportions de leur modalité ont été déterminées.

L'analyse comparative a consisté à étudier le lien entre les variables en effectuant des tests statistiques (test paramétrique ou non paramétrique). Après vérification de la normalité à l'aide du test de Shapiro-Wilk, le test de Levene a été utilisé pour vérifier l'homogénéité des variances. Les variances n'étant pas homogènes, le test de Kruskal-Wallis qui est le test alternatif non paramétrique de l'analyse de variance à un facteur a été effectué pour étudier l'influence du taux de couverture foliaire et l'influence du niveau d'entretien sur la prévalence de la pourriture brune. Ces tests statistiques ont tous été effectués au seuil de 5% sous le logiciel IBM SPSS Statistic 20.0.

## Résultats et discussion

### Résultats

#### Différentes espèces de *phytophthora* identifiées

Les résultats de l'analyse moléculaire ont montré que, seule *Phytophthora palmivora* existe sur le site de Petit-Bondoukou à une proportion de 8% contre 92% pour les autres espèces non identifiées (Tableau I). Cela explique que 3 arbres sur 40 arbres échantillonnés au total sont infectés par *Phytophthora palmivora*. L'espèce *Phytophthora megakarya* n'a pas été identifiée sur le site de Petit-Bondoukou.

### Influence du taux de couverture foliaire sur la prévalence de la pourriture brune

Les résultats de l'analyse descriptive (Tableau II) montrent que la pourriture brune des cabosses sur le site de Petit Bondoukou a une prévalence comprise entre 21% et 39%. La moyenne de prévalence de la pourriture brune sur l'ensemble du site est de 32% ± 7%. Cela montre que l'infection est uniforme sur l'ensemble des plots échantillonnés. La description des données relatives au taux de couverture foliaire a montré que les cacaoyers à forte couverture foliaire sont plus dominants (63%) que les cacaoyers à taux de couverture moyen (25%) et faible (13%) (Tableau III). Les cacaoyers du site ont donc une bonne couverture foliaire. L'analyse de comparaison des moyennes de prévalence en fonction du taux de couverture foliaire des arbres par le test Kruskal-Wallis (Tableau V) a montré une différence significative ( $p=0,022 < 0,05$ ). En effet, la prévalence de pourriture brune des cabosses est plus élevée dans le cas de fort taux de couverture foliaire.

**Tableau I** : Nombre d'arbres infectés par les différentes espèces de *Phytophthora* identifiés sur le site de Petit Bondoukou

Espèce de <i>Phytophthora</i>	Nombre d'arbre infectés	Pourcentage
<i>P. palmivora</i>	3	7,5
<i>P. megakarya</i>	0	0
Autres espèces	37	92,5
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

**Tableau II** : Résultat de l'analyse descriptive de la prévalence de la pourriture brune des cabosses

	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type
Prévalence phyto (%)	40	21,36	38,74	31,82	6,98

**Tableau III** : Taux de couverture foliaire des arbres tests

Taux de couverture foliaire	Effectifs	Pourcentage
Faible	5	12,5
Moyen	10	25
Fort	25	62,5
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

**Tableau IV** : Niveau d'entretien des plots

Niveau d'entretien	Effectifs	Pourcentage
Non entretenu	15	37,5
Entretenu	25	62,5
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

**Tableau V** : Résultat du test de Kruskal-Wallis entre la prévalence de *Phytophthora sp* et le

Récapitulatif du test d'hypothèse				
	Hypothèse nulle	Test	Sig.	Décision
1	La distribution de Préval <sub>phyto</sub> est identique sur les catégories de taux de couverture.	Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants	,022	Rejeter l'hypothèse nulle.

Les significations asymptotiques sont affichées. Le niveau de significati est ,05.

**Tableau VI** : Résultat du test de Kruskal-Wallis entre la prévalence de *Phytophthora sp* et le niveau d'entretien.

Récapitulatif du test d'hypothèse				
	Hypothèse nulle	Test	Sig.	Décision
1	La distribution de Préval <sub>phyto</sub> est identique sur les catégories de Niveau d'entretien.	Test de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants	,000	Rejeter l'hypothèse nulle.

Les significations asymptotiques sont affichées. Le niveau de significati est ,05.

### Influence du niveau d'entretien sur la prévalence de la pourriture brune

La description des modalités de la variable niveau d'entretien a montré que la majeure partie des plots observés sont entretenus à raison de 63% contre 38% pour les plots non entretenus (Tableau IV). L'analyse de comparaison des moyennes de prévalence de la pourriture en fonction du niveau d'entretien des arbres par le test Kruskal-Wallis (Tableau VI) a montré une différence significative ( $p = 0,000 < 0,05$ ). En effet, la prévalence de pourriture brune des cabosses est plus élevée dans le cas des parcelles non entretenues.

## Discussion

### Les espèces de *Phytophthora* identifiées

Les résultats de l'analyse moléculaire ont montré que les espèces de *Phytophthora* identifiées sur le site d'étude sont *Phytophthora palmivora* et d'autre espèces de *Phytophthora* qui n'ont pu être identifiées. *Phytophthora megakarya* bien que dominant dans d'autres sites de la région n'a pas été identifiée sur le site de Petit Bondoukou. Ce résultat est en accord avec les résultats des travaux de Babacauh (1980) qui a montré que la plupart des espèces de *Phytophthora* responsables de la pourriture brune sont *Phytophthora palmivora* et *Phytophthora citrophthora*. De ce qui précède, les autres *Phytophthora sp* qui n'ont été identifiées dans le cas de cette étude pourraient être *Phytophthora citrophthora* ou *Phytophthora megakarya*. Malgré que *phytophthora megakarya* n'ait été identifié à Petit Bondoukou, d'autres recherches ont montré que cette espèce plus agressive que *phytophthora palmivora* est bien présente en Côte d'Ivoire (Kébé et al., 2001 ; Koné, 1999). En effet, l'introduction de *Phytophthora megakarya* serait due à la perméabilité des frontières et des échanges du matériel végétal avec le Ghana voisin où la maladie est endémique. Le développement de cette espèce en Côte d'Ivoire le serait davantage (Opoku, 1997).

### Influence du taux de couverture foliaire sur la prévalence de la pourriture brune

L'analyse comparative entre le taux de couverture foliaire et la prévalence de la pourriture brune a montré que les arbres avec un taux de couverture foliaire fort avaient de manière

significative une forte prévalence de la pourriture brune des cabosses. En effet, le fort taux de couverture foliaire des arbres tests crée un microclimat humide favorable au développement de la pourriture brune. Medeiros (1976) relie l'évolution de l'épidémie aux conditions climatiques, en particulier l'humidité relative et la pluviométrie.

### Influence du niveau d'entretien sur la prévalence de la pourriture brune

L'analyse comparative entre le niveau d'entretien des arbres tests et la prévalence de la pourriture brune a montré que les arbres tests entretenus avaient de manière significative une prévalence plus faible de la pourriture de cabosses que les arbres tests non entretenus. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que les parcelles non entretenues ont une influence sur le développement de la pourriture brune dû à *Phytophthora sp*. Ces résultats sont corroborés par les travaux de Kouadjo et al (2002) qui ont souligné que la diminution du pouvoir d'achat des planteurs de cacao a contraint ceux-ci à s'orienter vers d'autres spéculations notamment les cultures vivrières, abandonnant les cacaoyers sans traitement, ni insecticide, ni défrichage, ni taille régulière des branches et ni récolte sanitaire. Toutes ces conditions prédisposeraient la cacaoyère à la pourriture brune qui se trouve actuellement à un taux d'infection compris entre 63 et 78% selon Pohe et al (2013). Une parcelle entretenue est aérée et permet la pénétration de quelques rayons de soleil, qui peuvent constituer un frein au développement de *Phytophthora*. Tarjot (1971) a établi que sous l'effet de l'éclairage, les fruits du cacaoyer sont moins sensibles que ceux non éclairés. En outre, Blaha (1983) a identifié la lumière comme un facteur inhibiteur de la croissance chez différentes espèces de *Phytophthora*. Efombagn (1999) a également montré que la croissance in vitro des isolats de *Phytophthora sp* est influencée par la lumière. Cette croissance est lente en lumière continue, rapide à l'obscurité et moyenne en lumière alternée (12 heures de lumière / 12 heures d'obscurité).

En clair, lorsqu'il y a une forte couverture foliaire et un bon entretien alors il y a un faible développement de *Phytophthora sp*. Par contre lorsqu'il y a une forte couverture foliaire et un non entretien de la parcelle alors, ceci constitue un nid de développement de *Phytophthora sp*, c'est le cas du site de Petit-Bondoukou.

## Conclusion et perspectives

Cette étude avait pour objectif d'identifier d'abord les différentes espèces de *Phytophthora* responsables de la pourriture brune à Petit-Bondoukou, ensuite de déterminer l'influence du taux de couverture foliaire des cacaoyers et du niveau d'entretien des parcelles sur le développement de la pourriture brune des cabosses. Les résultats de l'analyse moléculaire ont montré que les différentes espèces de *Phytophthora* responsables de la pourriture brune dans cette zone sont *Phytophthora palmivora* et d'autres espèces de pourriture brune non identifiées dans le cas de cette étude. L'analyse statistique a montré que le niveau d'entretien des parcelles et le taux de couverture foliaire des cacaoyers sont des facteurs épidémiologiques qui expliquent le développement de la pourriture brune à Petit Bondoukou. La forte couverture foliaire des cacaoyers crée un microclimat humide favorable au développement de la pourriture brune. Le niveau d'entretien influence la progression de la pourriture brune

des cabosses dans les parcelles. Lorsque les parcelles ne sont pas entretenues, le risque de propagation de *Phytophthora sp* est élevé et en cas d'infection la progression devient plus rapide.

En définitif, le maintien d'entretien des parcelles de cacaoyers de façon régulière et la taille régulière des cacaoyers pourraient diminuer la pression de la maladie de la pourriture des cabosses.

#### Remerciements :

Nos remerciements vont à l'endroit de la Fondation Agropolis de Montpellier (France) à travers le projet E-SPACE qui a financé en partie ce travail. Nous remercions également le cabinet d'expertise en Agriculture et Développement Durable SAG SARL pour la collecte et le suivi des données.

#### Références bibliographiques

**Akrofi A.Y.** (2015): *Phytophthora megakarya*: Review on its status as a pathogen on cacao in West Africa. African crop science journal, vol. 23; No.1, pp.67-87.

**Babacauh K. D.** (1980) : Structure et dynamique des populations de *Phytophthora sp* parasite du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.). Thèse de Doctorat d'Etat, Université Paris-Sud, Centre d'Orsay, 153p.

**Blahu G.** (1983) : Effet de la lumière sur *Phytophthora palmivora* et *Phytophthora megakarya*, agents de la pourriture brune des cabosses du cacaoyer. Etude préliminaire du phénomène de photo-inhibition observe sur *Phytophthora megakarya*. *Café Cacao Thé*, 27 (2).

**Brasier C. M. et Griffin M. J.** (1979): Taxonomy of *Phytophthora palmivora* on Cocoa. Transactions of the British Mycological Society, 72, 111-143.

**Conseil Café-Cacao (CCC).** (2015) : Manuel technique de cacao-culture durable. 13p.

**Diby L., Kouassi G., N'guessan M., Yao E., Oro F., Aynekulu E., Kassin E., Kouamé C., Coe R., Shepherd K.** (2014): Cocoa Land Health Surveillance: An evidence-based approach to sustainable management of Cocoa landscapes in the Nawa region, South-West Côte d'Ivoire. Working Paper 193, 34 p.

**Efombagn M. I. B.** (1999) : La pourriture brune des fruits du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) due à *Phytophthora megakarya* : caractérisation du pouvoir pathogène des isolats et de la résistance précoce de familles hybrides. Mémoire de fin d'études, FASA, Université de Dschang. 74 p.

**Freud E.H., Petithuguenin P., et Richard J.** (2000) : Les champs de cacao : un défi de compétitivité Afrique-Asie. Editions Karthala et CIRAD, Paris, 207 p.

**Gidoin C.** (2013) : Relation entre structure du peuplement végétal et bio-agresseurs dans les agroforêts à cacaoyer. Application à trois bio-agresseurs du cacaoyer : la moniliose au Costa Rica, la pourriture brune et les mirides au Cameroun. Thèse, Centre International d'Etudes Supérieures en Sciences Agronomiques de Montpellier, 210 p.

**Janny G. M., Vos B. J., Ritchie., Julie F.** (2003) : Guide pour la formation des facilitateurs. CABI Biosciences, 114p.

**Kébé B. I., Joseph M., Kouamé F. N., Prakash K. H., Gary S. S., et Aké S.** (2009) : Isolement et identification de microorganismes indigènes de cacaoyères en Côte d'Ivoire

et mise en évidence de leurs effets antagonistes vis-à-vis de *Phytophthora palmivora*, agent de la pourriture brune des cabosses. Sciences & Nature Vol.6 N°1: 71 - 82 (2009).

**Kébé B., N'guessan F.K., Keli J.Z., and Bekon A. K.** (2001): Cocoa IPM research and implementation in Côte d'Ivoire. In proceedings of the west African Regional Cocoa IPM Workshop. Benin November 2001. 46 – 51.

**Koné Y.R.** (1999) : Étude de la structure actuelle des populations de *Phytophthora spp.* Agent de la pourriture brune des cabosses du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) en Côte d'Ivoire. Mémoire de Diplôme d'Agronomie Approfondie option défense des cultures ESA Yamoussoukro 111p.

**Koua S. H., Coulibaly N. A. M-D., Alloueborau W. A. M.** (2018) : Caractérisation vergers et des maladies de cacao de la Côte d'Ivoire : cas des départements d'Abengourou, Divo et Soubré. Journal of Animal & Plant Sciences, 2018. Vol.35, Issue 3 : 5706-5714.**Kouadjo J.M., Keho Y., Mosso R.A., Toutou K.G., Nkamleu et Gockowski J.** (2002) : Production et offre du cacao et du café en Côte d'Ivoire. Rapport d'enquête. International Institute of Tropical Agriculture, Yaoundé Cameroun. 100p.

**Kouakou K.** (2014) : Diversité moléculaire du CSSV (*Cocoa Swollen shoot virus*) et épidémiologie de la maladie du Swollen shoot du cacaoyer (*Theobroma cacao* l.) en côte d'ivoire. Thèse de Doctorat de l'Université Felix Houphouët Boigny, 135p.

**Medeiros, A. G.** (1976) : Sporulation of *Phytophthora palmivora* (Butl.) Butl. In relation to epidemiology and control of cocoa black pod disease. Ph.D. Thesis, University of California, Riverside, 220 p.

**Metcalfé et Chalk.** (1950) : Anatomie des dicotylédons. Journal of Pharmacy and Pharmacology 1950. Vol 1 et 2, 862-863 pp.

**Motamayor J C., Risterucci A. M., Lopez P A., Ortiz C. F., Moreno A., Lanaud C.**

(2002): Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity* 89 : 308-3, 153 p.

**N'Guettia A.M.C.** (2015) : Efficacité de doses de deux formulations de Movento (Ketoenoles) contre les cochenilles farineuses, vectrices du virus Swollen shoot du cacaoyer dans la localité de Soubré (Sud-ouest de la Cote d'Ivoire). Mémoire de Master de l'Université Felix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 58 p.

**Opoku I.Y.,** (1997): *Phytophthora megakarya* in Ghana. In coped newsletter n°1 : 4-5.

**Pohe J., Koula J., Rabe G R., Dezai L R.** (2013) : Agressivité de la pourriture brune des cabosses de cacaoyer dans le sud-est de la Cote d'Ivoire. Journal of Animal & Plant Sciences, 2013. Vol.20, Issue 2 : 3126-3136. ISSN 2071-7024.

**Serges T.** (2014) : Cote d'Ivoire : 1,74 million de tonnes de cacao récoltées en 2013-2014, record historique, Economie AFP, 6p.

**Tano M.A.** (2012) : Crise cacaoyère et stratégies des producteurs de la sous-préfecture de Meadji au Sud- Ouest Ivoirien. Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse, France, 242p.

**Tarjot M.** (1971) : Nouvelle contribution à l'étude de la pourriture brune des cabosses du cacaoyer due au *Phytophthora palmivora* (Butl.) Butl. En Côte d'ivoire. *Café Cacao Thé*, 16 (1) : 3 1 -4 8.

# Réponse fonctionnelle des stades larvaires de *Phonoctonus lutescens* (Heteroptera: Reduviidae) (Guérin Meneville et Percheron, 1887), punaise prédatrice de *Dysdercus voëlkeri* (Heteroptera: Pyrrhocoridae) (Schmidt, 1932) en conditions ambiantes au Burkina Faso.

Auteurs: SOW Issa\*<sup>1</sup>, HEMA S. A. Omer<sup>1</sup> S, SANON Antoine<sup>2</sup>, DAKUYO Z. Gustave<sup>3</sup>

## Résumé

Au Burkina Faso, la répression de *Dysdercus voëlkeri* Schmidt (Hemiptera : Pyrrhocoridae) dans les champs de cotonnier est basée sur l'utilisation d'insecticides chimiques de synthèse. Dans la recherche de solutions alternatives, un pan de la lutte biologique est investi à travers l'utilisation de réduves notamment *Phonoctonus lutescens* Guérin Meneville et Percheron (Hemiptera : Reduviidae), prédateur de *D. voëlkeri*. L'objectif de l'étude est d'évaluer la réponse fonctionnelle des stades larvaires de *P. lutescens* quand ils se nourrissent de *D. voëlkeri*. L'étude a été menée à Bobo-Dioulasso au Burkina Faso sur des insectes collectés notamment à Farako-Bâ, Matourkou et Samanga. Elle a comporté 06 traitements répétés 30 fois avec 05 densités de *D. voëlkeri*. Les résultats ont montré que le nombre de proies tuées par les stades L1, L2 et L3 était inférieure au nombre de proies tuées par les stades L4 et L5. La meilleure réponse fonctionnelle est observée avec les stades larvaires L4 et L5 de *P. lutescens* aux cinq densités de proies quel que soit le temps d'exposition. Le meilleur ratio de conversion et la meilleure valeur prédatrice, respectivement de 260,12% et de 89,37% sont à l'actif du stade adulte. Ces résultats permettent de conclure que *P. lutescens* a répondu positivement à l'augmentation des densités de *D. voëlkeri* et présenté le deuxième modèle de la réponse de Holling. Le nombre élevé de proies consommées par le prédateur à une densité de proies plus élevée qu'à une plus faible densité a reflété le potentiel de lutte biologique du prédateur. Les réponses fonctionnelles obtenues des stades larvaires L4 et L5 de *P. lutescens* et sur ses relations avec *D. voëlkeri* dans l'environnement du cotonnier doivent ouvrir des pistes pour le développement de stratégies de gestion agro écologique de ce bioagresseur.

**Mots clés :** *Phonoctonus lutescens*, *Dysdercus voëlkeri*, réponse fonctionnelle, prédation, Burkina Faso.

## Abstract

In Burkina Faso, the control of *Dysdercus voëlkeri* Schmidt (Hemiptera: Pyrrhocoridae) in cotton fields is based on the use of synthetic chemical insecticides. In the search for alternative solutions, a part of biological control is invested through the use of reducers, notably *Phonoctonus lutescens* Guérin Meneville and Percheron (Hemiptera: Reduviidae), a predator of *D. voëlkeri*. The objective of the study is to evaluate the functional response of the larval stages of *P. lutescens* when they feed on *D. voëlkeri*. The study was carried out in Bobo-Dioulasso in Burkina Faso on insects collected notably from Farako-Bâ, Matourkou and Samanga. It consisted of 06 treatments repeated 30 times with 05 densities of *D. voëlkeri*. Results showed that the number of prey killed by L1, L2 and L3 stages was lower than the number of prey killed by L4 and L5 stages. The best functional response was observed with the L4 and L5 larval stages of *P. lutescens* at all five prey densities regardless of exposure time. The best conversion ratio and the best predatory value of 260.12% and 89.37%, respectively, are in the adult stage. These results lead to the conclusion that *P. lutescens* responded positively to the increased densities of *D. voëlkeri* and presented the second model of Holling's response. The high number of prey consumed by the predator at higher prey densities than at lower densities reflected the predator's biological control potential. The functional responses obtained from the L4 and L5 larval stages of *P. lutescens* and on its relationship with *D. voëlkeri* in the cotton environment should open avenues for the development of agroecological management strategies for this pest.

**Keywords:** *Phonoctonus lutescens*, *Dysdercus voëlkeri*, functional response, predation, Burkina Faso.

1\*3: INERA/Programme Coton, Station de Farako-Bâ, tel:+226 70010199, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, E-mail: [omerhema@yahoo.fr](mailto:omerhema@yahoo.fr)

2: UFR-SVT, Université de Ouagadougou, tel:70399940 Burkina Faso, E-mail: [antoine\\_sanon@univ-ouaga.bf](mailto:antoine_sanon@univ-ouaga.bf)  
\*Auteur correspondant: E-mail: [issaparguisow@yahoo.fr](mailto:issaparguisow@yahoo.fr)

## 1. INTRODUCTION

L'évaluation du potentiel d'un prédateur vis-à-vis de sa proie est un préalable incontournable dans la connaissance du comportement alimentaire d'un auxiliaire (Bharti, 2017). L'étude descriptive de l'entomofaune prédatrice d'Afrique de l'Ouest et du Centre a fait l'objet d'importants travaux réalisés par Poutouli *et al* (2011). Ces auteurs ont signalé que les réduves notamment *Phonoctonus lutescens* Meneville et Percheron (Hemiptera : Reduviidae) étaient d'excellents prédateurs qui pouvaient contribuer à réduire

les populations de nuisibles dans les agrosystèmes cotonniers. Cette espèce de prédateur se rencontre également au Burkina Faso où elle est présente dans les champs de cotonniers au même moment que sa proie *Dysdercus voëlkeri* Schmidt (Hemiptera : Pyrrhocoridae). *P. lutescens* et *D. voëlkeri* apparaissent pendant le stade laiteux des graines et à l'ouverture des capsules (PR-PICA, 2012). *D. voëlkeri* est un phytophage se nourrissant des graines de coton en maturation et provoquant la diminution du pouvoir germinatif de la semence et la réduction de la teneur en huile des graines et la souillure

de la fibre (PR-PICA, 2012). Ces dégâts constituent 29,14% de perte au niveau du Burkina Faso et 18% au niveau de la sous-région Ouest Africaine (PR-PICA, 2014). *P. lutescens* étant un prédateur, la prédation peut alors décrire un cas particulier d'interaction trophique où des individus d'une même espèce, les prédateurs, tuent et se nourrissent d'une partie de la biomasse d'une ou plusieurs autre(s) espèce(s), les proies (Abrams, 2000; Wojcik, 2019). Le nombre de proies consommées par un prédateur augmente avec la disponibilité des proies sur le terrain (Teixeira Alves, 2013). La réaction de l'individu prédateur à la variation de la densité de proies sur le terrain par unité de temps est appelée la réponse fonctionnelle (Holling, 1959). Cet auteur a défini trois principaux types de réponses fonctionnelles (type I, type II et type III) qui ont gardé son nom. Par conséquent, pour réduire l'impact de *D. voëlkeri* sur les cotonniers, on étudiera la réponse fonctionnelle de *P. lutescens* vis-à-vis de *D. voëlkeri*. Cette étude doit permettre de mieux comprendre le mécanisme de la prédation de *P. lutescens* sur *D. voëlkeri* et également permettre d'élaborer une stratégie d'élevage de masse et de lâcher de *P. lutescens* dans l'agro écosystème pour gérer *D. voëlkeri*.

## 2. MATERIEL ET METHODES

### 2.1 Site d'étude

Les larves et les adultes de *P. lutescens* et *D. voëlkeri* ont été collectés à Matourkou (11°05'N et 4°21'W) et Samanga (11°07'N et 4°21'W). Ces sites ont un climat de type tropical à dominance sud soudanienne avec une pluviométrie moyenne annuelle de 900 à 1200 mm et une température moyenne de 27,66°C de 2008 à 2017 (Kaboré et al, 2017). La collecte des souches de terrain a été réalisée avec des pots plastiques de dimensions 25×25×25 cm munis de trous d'aération sur parcelle de cotonnier non traitée, sous *Ceiba pentandra* L Gaertn (Bombacaceae) et *Blighia sapida* KD Koenig (sapindaceae).

### 2.2. Elevage des insectes

Les insectes collectés ont été élevés à la température ambiante dans quatre cages dont deux grandes de dimensions 100×100×100 cm et deux moyennes de dimensions 50×30×80 cm. Elles ont été construites et placées sous une paillotte de dimension 340×340×250 cm (Guyot, 1996). Les deux grandes cages ont été utilisées pour les élevages de masse de *P. lutescens* et *D. voëlkeri*. Les deux cages moyennes ont servi pour l'élevage des juvéniles lorsque ceux-ci étaient isolés. Une fois les tris et les séparations faits, chaque souche de terrain de *P. lutescens* et *D. voëlkeri* a été transférée dans une grande cage. Les œufs pondus par les souches terrain de *D. voëlkeri* et de *P. lutescens* et collés sur les parois grillagées des cages ont été manuellement recueillis avec des pinceaux et placés dans des boîtes de pétri (diamètre : 10 cm et profondeur : 6 cm) puis déposés pour incubation à l'intérieur de chaque cage moyenne.

Les larves de *D. voëlkeri* nouvellement écloses ont été recueillies et déposées aux pieds des cotonniers dans la grande cage et nourries pour être utilisées dans

l'expérience. Les individus de *P. lutescens* obtenus à l'émergence ont été isolés dans des bocaux plastiques percés de trous d'aération afin de leur assurer une bonne mobilité. Aucune variable n'a été modifiée de sorte que les conditions soient les plus proches possibles de celles rencontrées en milieu réel.

Les individus de *P. lutescens* ont été maintenus en les nourrissant avec les adultes de *D. voëlkeri*. Les individus de *D. voëlkeri* ont été maintenus dans l'élevage avec des graines et fibres de coton et des graines et fibres de *C. pentandra*, déposées au pied des plantules, sur le support de semis, pour servir de source alimentaire à *D. voëlkeri*. Les larves de chaque stage de *P. lutescens* issues de l'élevage ont été isolées et gardées à jeun pendant 24 heures avant d'être utilisées pour les tests de la réponse fonctionnelle.

### 2.3. Étude de la réponse fonctionnelle

Un dispositif complètement randomisé a été utilisé dans cette étude. Il a comporté 6 traitements répétés 30 fois avec 5 densités de proies (les densités de proies sont les quantités de nourriture disponibles pour le prédateur) comparés à *D. voëlkeri* seul (Témoin). L'évaluation de la réponse fonctionnelle de *P. lutescens* a consisté à faire varier de 1, 2, 3, 4 à 5, le nombre d'adultes de *D. voëlkeri* (25 jours de moyenne d'âge) par stades larvaires de *P. lutescens*. Les traitements administrés ont été les suivants :

- Témoin : *D. voëlkeri* seul
- 1 larve (L1, L2, L3, L4 ou L5) de *P. lutescens* en présence d'un adulte *D. voëlkeri*
- 1 larve (L1, L2, L3, L4 ou L5) de *P. lutescens* en présence de 2 adultes *D. voëlkeri*
- 1 larve (L1, L2, L3, L4 ou L5) de *P. lutescens* en présence de 3 adultes *D. voëlkeri*
- 1 larve (L1, L2, L3, L4 ou L5) de *P. lutescens* en présence de 4 adultes *D. voëlkeri*
- 1 larve (L1, L2, L3, L4 ou L5) de *P. lutescens* en présence de 5 adultes *D. voëlkeri*

L'équation du «disque» de Holling (1959) a été utilisée pour décrire la réponse fonctionnelle de *P. lutescens*.

### 2.4. Evaluation des mortalités de *D. voëlkeri*

Les individus de *P. lutescens* ont été mis en observation sur des densités de proies différentes à l'issue d'un temps donné (24, 48 ou 72 heures). Les temps constituent de bons indicateurs de recherche de manipulation, d'attaque et de digestion de la proie. Les individus de *D. voëlkeri* morts (a été considéré comme mort tout individu de *D. voëlkeri* immobile au toucher alors que tout individu capable de mouvoir a été considéré comme vivant même s'il a été saisi par le prédateur) pendant la prise de nourriture de *P. lutescens* ont été comptabilisés. Les proies tuées n'ont pas été remplacées pendant l'expérience.

### 2.5. Détermination du ratio de conversion et de la valeur prédatrice de *P. lutescens*

Le ratio de conversion du prédateur définit le rapport entre le poids des aliments ingérés et le gain de production obtenu chez ce prédateur et dépend seulement du

nombre de proies consommées par unité de temps Ginzburg (1998). La valeur prédatrice représente la quantité (poids) des aliments consommés par un prédateur du début à la fin d'un stade donné.

Le ratio de conversion et la valeur prédatrice des stades larvaires (1 à 5) et des adultes de *P. lutescens* sur *D. voëlkeri* ont été calculés pour chaque stade de développement grâce aux travaux de Selvamuthu et Ambrose (1992) selon les formules suivantes :

$$\text{Ratio de Conversion} = \frac{\text{augmentation de poids}}{\text{Poids consommé}} \times 100 \quad (1)$$

Valeur Prédatrice

$$= \frac{\text{Poids de la nourriture consommée au cours du stade larvaire donné}}{\text{Durée du stade larvaire donné}} \times 100 \quad (2)$$

Le calcul du ratio de conversion et de la valeur prédatrice de *P. lutescens* a été possible grâce à des élevages en couples. A l'éclosion, les larves de *P. lutescens* ont été isolées dans des boîtes de pétri et nourries avec des individus de *D. voëlkeri*. Le début et la fin de chaque stade larvaire et adulte (L1, L2, L3, L4 et L5) de *P. lutescens* a été pesé. Il en a été de même pour *D. voëlkeri* avant la mise en contact avec *P. lutescens*. La valeur prédatrice, le taux de conversion, la consommation alimentaire et les stades larvaires ont été pris comme indices. Les tests ont été réalisés uniquement avec les individus vigoureux. Les individus considérés comme vigoureux sont ceux là qui ne souffraient pas de lésion physique et qui réagissaient tout de suite au toucher. L'augmentation du poids a été calculée en soustrayant le poids initial d'un stade donné du poids final de ce stade. L'augmentation de poids du stade L1 a été considéré comme zéro parce que nous n'avons considéré que le début de chaque stade(mues).

## 2.6. Analyse statistique

L'analyse des résultats sur les stades larvaires (L1, L2, L3, L4 ou L5) de *P. lutescens* prend en compte le nombre d'individus de *D. voëlkeri* tués en fonction de la densité de proies offertes dans un temps donné. La saisie des données brutes a été effectuée dans le tableur Microsoft Excel 2010. Une analyse de variance (ANOVA) est pratiquée grâce au logiciel XLSTAT version 2007.7.02. Les moyennes ont été comparées grâce au test-t de Student et classées à l'aide du test de Bonferroni à un intervalle de confiance de 95%. Le test de corrélation de Pearson  $p < 0.0001$  a été utilisé pour faire les analyses sur le nombre de proies tuées en fonction de la densité de proies par unité de temps.

## 3. Résultats

### 3.1. Réponse fonctionnelle

L'allure des courbes des stades larvaires L1, L2 et L3 ont indiqué qu'à la densité de proies comprise entre 1 et 5 que ces stades ont tué moins de proies que les stades L4 et L5 à 24 heures (figure 1). Il en a été de même pour ces mêmes stades larvaires à 48 heures (figure 2). Les stades larvaires L4 et L5 ont tué plus de proies que les stades L1, L2 et L3 à 72 heures (figure 3). Mais pour les larves de L4 et L5 de *P. lutescens*, quel que soit le temps d'exposition de *P. lutescens* aux densités de *D. voëlkeri*, le nombre d'hôtes consommés par le

prédateur augmente avec la densité. Cependant, il tend à se stabiliser entre 4 et 5 hôtes (figure 1 à 3). De très faibles corrélations positives ( $y = 0,1561 + 0,3728x$ ;  $R^2 = 0,1358$ ) (0,0001) pour 24 heures, ( $y = 0,1278x + 0,4533$ ;  $R^2 = 0,1358$ ) (0,0001) pour 48 heures sont obtenues entre la densité de proies et le nombre de proies tuées. Il en est de même pour l'unité de temps de 72 heures, où un très faible coefficient de détermination  $R^2$  (0,1415) du modèle a montré une liaison très faible entre les densités et le nombre de proies tuées.

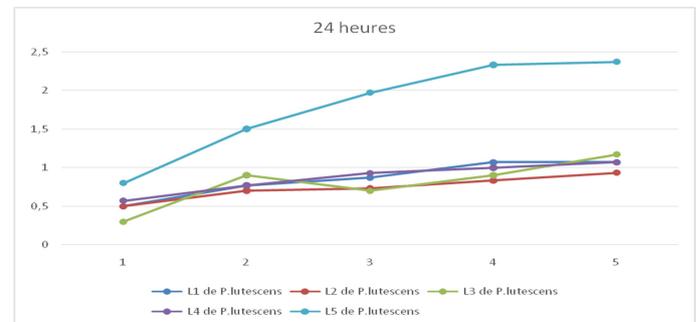


Figure 1: Nombre moyen d'adultes de *D. voëlkeri* consommés en 24 heures par les différents stades larvaires de *P. lutescens* en fonction de la densité d'hôtes offerts

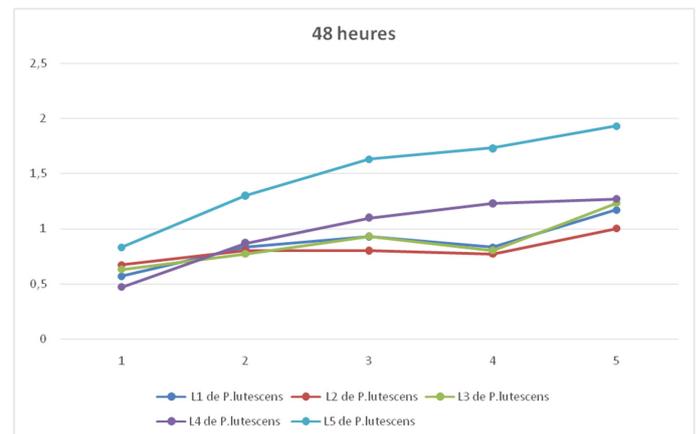


Figure 2 : Nombre moyen d'adultes de *D. voëlkeri* consommés en 48 heures par les différents stades larvaires de *P. lutescens* en fonction de la densité d'hôtes offerts

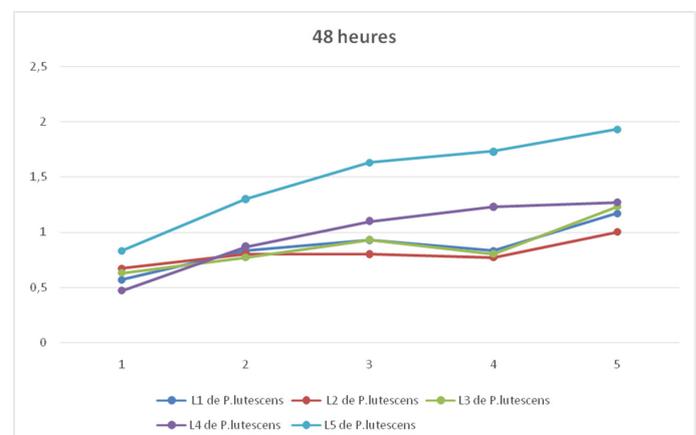


Figure 3: Nombre moyen d'adultes de *D. voëlkeri* consommés en 72 heures par les différents stades larvaires de *P. lutescens* en fonction de la densité d'hôtes offerts

### 3.2. Ratio de conversion et valeur prédatrice

Les poids des différents stades de *P. lutescens* augmentent progressivement lorsqu'on passe d'un stade

à un autre. Cette augmentation est passée de 0 mg du stade L1 à 12,46 mg au stade adulte. Les quantités de *D.voëlkeri* consommées se maintiennent à environ 4,11 mg en moyenne pour tous les stades de développement de *P. lutescens*. Les meilleurs ratios de conversion sont de 68,77% pour le stade L5 et 260,12% pour le stade adulte qui a également présenté la meilleure valeur prédatrice avec un taux de 89,37% (Tableau 1).

Tableau 1 : Ratio de conversion et valeur prédatrice des stades larvaires 1 à 5 et du stade adulte de *P. lutescens*

Variables calculées	L1	L2	L3	L4	L5	Adultes
Poids initial (mg)/ stades	0,32	1,89	4,08	4,27	4,37	14,75
Augmentation de poids de <i>P. lutescens</i> (mg)	0	1,89	2,19	2,08	2,29	12,46
Quantité de <i>D.voëlkeri</i> consommé (mg)	4,84	3,95	3,97	3,8	3,33	4,79
Durée de stade larvaire de <i>P. lutescens</i> (jour)	7,48	6,96	7,05	7,42	18,07	5,36
Ratio de conversion (1)	0	47,84	55,16	54,77	68,77	260,12
Valeur prédatrice (2)	64,71	56,75	56,31	51,21	18,43	89,37

#### 4. Discussion

Les résultats de nos travaux prouvent que les stades larvaires L1, L2 et L3 de *P. lutescens* ont consommé moins de proies. En effet, les individus constituant ces larves sont de petites tailles et cela peut réduire leur capacité de recherche et d'attaque de la proie. Ce résultat est en conformité avec celui de Ambrose et Ganesh (2016) qui ont observé que l'âge et la taille du prédateur limitaient significativement la réponse vigoureuse d'un prédateur à l'augmentation de la densité de proies. Les résultats montrent en outre que les stades larvaires L4 et L5 de *P. lutescens* ont tués plus de *D. voëlkeri* que les stades L1 à L3 du prédateur, confirmant ainsi que le besoin d'accumulation d'énergie des deux derniers stades est important au cours du développement des insectes car les mues leur permettent non seulement d'augmenter leur taille mais aussi leur poids (Louat, 2013). Ces résultats se traduisent par des réponses fonctionnelles plus importantes chez les stades larvaires L4 et L5 de *P. lutescens* que celles des stades larvaires L1 à L3. Les fortes consommations de *D. voëlkeri* surviennent lorsque la densité de proie augmente. Nos résultats sont en conformité avec ceux Sahayaraj *et al* (2012) sur la réponse fonctionnelle de larves *Rhynocoris longifrons* (Stål) (Hemiptera: Reduviidae). En effet, ces auteurs ont montré que les stades larvaires L4 et L5 de *R. longifrons* avaient tués plus d'adultes de *Phenacoccus solenopsis* (Tinsley) (Hemiptera :Pseudococcidae) et *Aphis gossypii* (Glover) (Hemiptera : Aphididae) que les autres stades larvaires. La consommation des stades larvaires L4 et L5 de *P. lutescens* en fonction des densités de *D. voëlkeri* indique une réponse fonctionnelle typique établissant l'applicabilité du deuxième modèle de l'équation du disque de Holling (1959) qui s'explique par une augmentation du nombre de proies tuées par prédateur individuel en fonction de la densité des proies et tendant à se stabiliser à une densité de 4 à 5 *D. voëlkeri* par prédateur. Ces résultats suivent la théorie de prédation postulée par des rapports antérieurs de nombre d'auteurs qui stipulent que le taux de prédation évolue avec la densité de proies (Sahayaraj *et al*, 2012; Ambrose *et al*, 2013; Ambrose *et al*, 2008; 2009; 2010; Sahayaraj *et al*, 2010), signalé chez d'autres espèces de réduves. Comme l'a rapporté Poole (1974), la réponse fonctionnelle de type II est typique et assez représentative

pour la plupart des prédateurs invertébrés.

S'agissant de l'augmentation de poids, du ratio de conversion et de la valeur de prédation, les résultats indiquent que le meilleur ratio de conversion s'observe au stade L4 et la meilleure valeur de prédation est à l'actif des adultes. Ces indicateurs ont montré que l'efficacité de la stratégie alimentaire adoptée par le prédateur permettait de réduire la densité de la population des proies. Cette observation est en conformité avec celle faite par Barthi (2017) qui a montré que les meilleures conversions de biomasses de *Rhynocoris marginatus* avaient été observées pour les stades L4 et les adultes nourris sur différentes diètes. L'aliment en même temps qu'il doit suffire en quantité doit aussi être de qualité confirmant ainsi que les indicateurs de conversion de biomasse doivent permettre à l'insecte prédateur de constituer des réserves nutritives à son développement (Tine-Djebar et Soltani, 2008).

#### 5. Conclusion et Perspectives

Cette étude avait pour objectif d'évaluer la réponse fonctionnelle des stades larvaires de *P. lutescens* vis-à-vis de la variation de densité (1 à 5) de *D.voëlkeri*. Les résultats obtenus sur le comportement alimentaire de *P. lutescens* à 24, 48 et 72 heures ont montré que seuls, les stades larvaires L4 et L5 avaient donné la meilleure réponse fonctionnelle à toutes les densités de proies. Les connaissances obtenues sur la réponse fonctionnelle de *P. lutescens* et sur ses relations avec *D. voëlkeri* ouvrent des pistes pour le développement de stratégies de gestion agro-écologique de ce bioagresseur. *P. lutescens* peut être considéré comme un prédateur performant dans la lutte contre le ravageur *D. voëlkeri* et utilisé comme agent de lutte biologique en culture cotonnière. En perspectives des essais en pots et en pleins champs sur les pratiques culturales en stations doivent être entrepris afin d'évaluer leur efficacité dans le milieu naturel et d'envisager leur exploitation en grande culture.

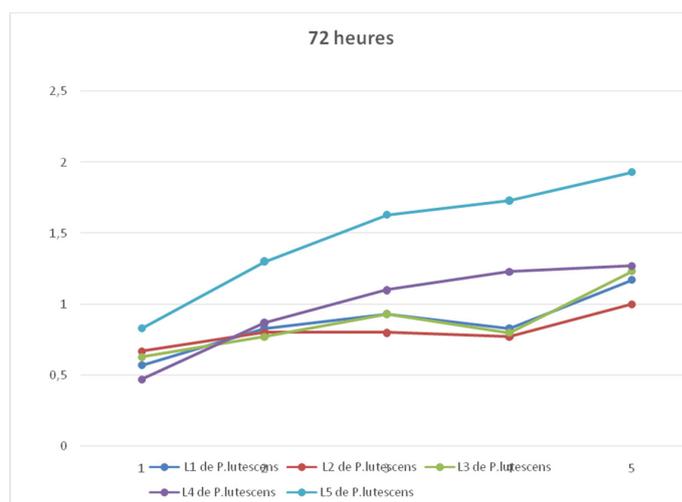


Figure 1: Nombre moyen d'adultes de *D. voëlkeri* consommés en 24 heures par les différents stades larvaires de *P. lutescens* en fonction la densité d'hôtes offert

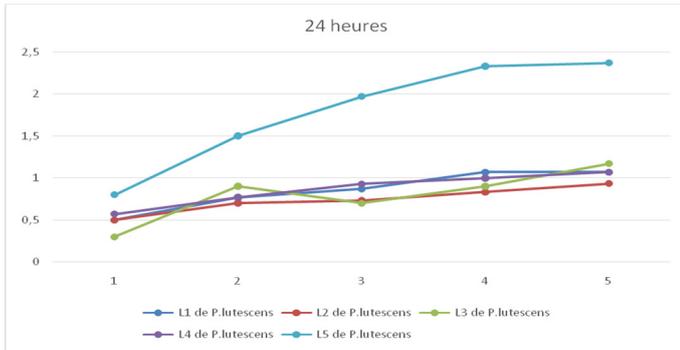


Figure 2 : Nombre moyen d'adultes de *D. voelkeri* consommés en 48 heures par les différents stades larvaires de *P. lutescens* en fonction la densité d'hôtes offerts

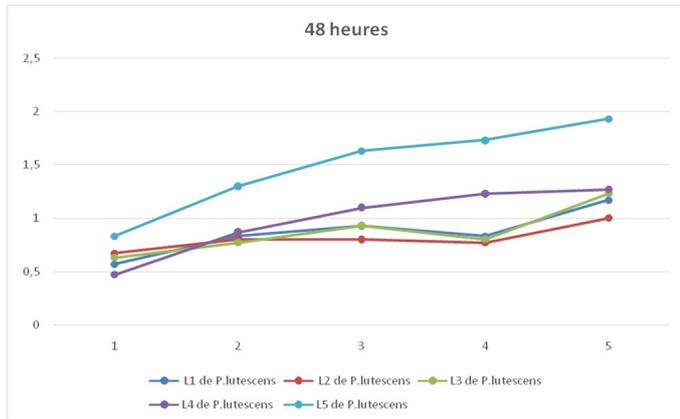


Figure 3: Nombre moyen d'adultes de *D. voelkeri* consommés en 72 heures par les différents stades larvaires de *P. lutescens* en fonction de la densité d'hôtes offerts

Tableau 1 : Ratio de conversion et valeur prédatrice des stades larvaires 1 à 5 et du stade adulte de *P. lutescens*

Variables calculées	L1	L2	L3	L4	L5	Adultes	
Poids initial (mg)/ stades	0,32	1,89	4,08	4,27	4,37	14,75	
Augmentation de poids de <i>P. lutescens</i> (mg)	0	1,89	2,19	2,08	2,29	12,46	
Quantité de <i>D. voelkeri</i> consommé (mg)	4,84	3,95	3,97	3,8	3,33	4,79	
Durée de stade larvaire de <i>P. lutescens</i> (jour)	7,48	6,96	7,05	7,42	18,07	5,36	
Ratio de conversion (1)	0	47,84	55,16	54,77	68,77	260,12	
Valeur prédatrice (2)		64,71	56,75	56,31	51,21	18,43	89,37

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Abrams P A, 2000**, The evolution of predator-prey interactions : theory and evidence. Annual Review of Ecology and Systematics. T. 31, no 1, p. 79–105.

**Ambrose D P, Ganesh Kumar A, 2016**, Reduviid Predators. In: Omkar (Ed.), Ecofriendly Pest Management for Food Security. Academic Press, chapitre 7, pp. 217–257. ISBN: 9780128032657 Copyright ©. Elsevier Inc. All rights reserved. Academic Press <http://www.elsevier.com/locate/permissionusematerial>.

**Ambrose D P, Nagarajan K, Kumar A G, 2013**, Interaction of reduviid predator, *Rhynocoris marginatus* (Fabricius)(Hemiptera: Reduviidae) with its prey teak skeletonizer, *Eutectona machaeralis* Walker (Lepidoptera: Pyralidae) as revealed through functional response. Journal of Entomological Research 37 (1), 55–59.

**Ambrose D P, Rajan S J, Raja J M, 2010**, Impacts of synergy-505 on the functional response and behavior of

the reduviid bug, *Rhynocoris marginatus*. J Insect Sci.; 10: 1-10.

**Ambrose D P, Sebastirajan J, Nagarajan K, Jebasingh V, Sivaramakrishnan S, 2009**, Biology, behavior and functional response of *Sphedanolestes variables* Distant (Hemiptera: Reduviidae), a potential predator of lepidopteran pest. Entomol Croatia.; 13: 33-44.

**Ambrose D P, Michel Raja J, Jesu Rajan, 2008**, Functional response of *Acanthaspis quinquespinosa* (Fab.) on *Coptotermes hemi*. J Biol Cont.; 22: 163-168.

**Bharti R, 2017**. Studies on the tri-trophic interaction of The predatory bug, *Rhynocoris marginatus* (hemiptera : reduviidae ) with *corcyra cephalonica* Stainton larvae reared on different diets. Master of Science in Agriculture (Entomology) U.ID. 20151622505 I.D. No. 120115091. 71 p.

**Ginzburg L R,1998**, Assuming reproduction to be a function of consumption raises doubts about some popular predator-prey models. Journal of Animal Ecology 67 :325–327.

**Guyot H,1996**, Une technique d'élevage de *Dermestes maculatus* Degeer, 1774 (Coleoptera, Dermestidae), Insectes n°100-(1), pp13-14.

**Holling C S, 1959**, Some characteristics of simple types of predation and parasitism. The Canadian Entomologist 91 :385–398.

**Kabore B, Kam S, Ouedraogo G W P & Bathiebo D J, 2017**, Etude de l'évolution climatique au Burkina Faso de 1983 à 2012: cas des villes de Bobo Dioulasso, Ouagadougou et Dori. Arabian journal of earth sciences 4-issue 2:50-59.

**Louat F, 2013**, Etude des effets liés à l'exposition aux insecticides chez un insecte modèle, *Drosophila melanogaster*. Sciences agricoles. Université d'Orléans ,2013.Français. NNT:2013ORLE2062.tel-01058781.

**Poole P W,1974**, An introduction on Quantitative Ecology ., Mc Graw.Hill, New York, 532 p.

**Poutouli W, Silvie P, Aberlenc H-P, 2011**, Hétéroptères phytophages et prédateurs d'Afrique de l'Ouest. Editions Quae ISBN=2759209512, 82p.

**PR-PICA, 2014**, Rapport de synthèse de la 7<sup>ème</sup> réunion à Dakar, République du Sénégal, 1-17 p.

**PR-PICA, 2012**, Rapport De Synthèse De La Septième Réunion Bilan Du Programme Régional De Protection Intégrée Du Cotonnier En Afrique (PR-PICA). Sénégal, Dakar, le 18 avril 2014. <http://prpica.org/spip.php>.

**Sahayaraj K, Kalidas S, Tomson M, 2012**, Stage preference and functional response of *Rhynocoris longifrons* (Stål) (Hemiptera: Reduviidae) on three hemipteran cotton pests. Brazilian Archives of Biology and Technology 55 (5),733–740. ISSN 1516-8913.

**Sahayaraj K, Asha A, 2010**, Biological control potential evaluation of *Rhynocoris kumarii* Ambrose and Livingstone (Hemiptera: Reduviidae) on *Aphis craccivora* (Koch.) (Hemiptera: Aphididae). Indian J. Agri Res; 44: 281-287.

**Selvamuthu Kumaraswami N, Ambrose D P, 1992**, Biology and Prey Preference of *Sycanus versicolor* Dohrn (Hemiptera: Reduviidae), J. Biol. Control, 6(2), 67-71.

**Teixeira Alves M, 2013**, Des interactions indirectes entre les proies : modélisations et influence du comportement du prédateur commun. Autre[CS.OH]. Université Nice Sophia Antipolis , Français .NNT : 2013NICE4024. tel-00833242.

**Tine-Djebar F, Soltani N, 2008**, Activité biologique d'un agoniste non stéroïdien de l'hormone de mue sur *Culiseta longiareolata*: analyses morphométrique, biochimique et énergétique. Revue synthèse N° 18, pp 23-34.

**WOJCIK L, 2019**. Entre théorie trophique et données macroécologiques : relations allométriques et réponse fonctionnelle. Spécialisation/option:Master de Modélisation en Ecologie (U. Rennes 1), 46 p : <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>. Consulté le [20/05/2020].

#### Remerciements

Nous remercions le Dr Bazoumana Koulibaly pour la prise en charge financière du présent article. Nous sommes reconnaissants aux deux Reviewers pour les corrections et les recommandations qui ont permis d'améliorer le document.

## Evaluation des polyphénols et des capacités antioxydantes des fruits de *Musa acuminata* Colla subsp. *burmannicoïdes* De Langhe, un bananier sauvage asiatique acclimaté dans la région de Yangambi, RD Congo

Ndjango N.E.<sup>1\*</sup>, Awilianza N.F.<sup>1</sup>, Asimwe L.C.<sup>1</sup>, Saile I.J.<sup>1</sup>, Dhed'a D.B.<sup>2</sup>, Luyten W.<sup>3</sup>, Swennen R.<sup>4</sup>

### Résumé

*Musa acuminata* subsp. *burmannicoïdes* est un bananier sauvage importé de la Birmanie il y a un demi-siècle et bien acclimaté dans la Réserve de Biosphère de Yangambi où il se multiplie spontanément. Ses fruits contiennent des graines volumineuses dans leur pulpe empêchant ainsi leur consommation. En vue de leur valorisation, la composition phénolique et les capacités antioxydantes de la pulpe ont été déterminées. Ainsi, l'étude phytochimique qualitative a permis de détecter les grands groupes chimiques et les dosages quantitatifs des polyphénols, flavonoïdes, anthocyanes et tanins condensés ont été réalisés. Enfin, les activités réductrice (FRAP) et antiradicalaire (ABTS et DPPH) ont été évaluées. Les résultats ont montré que les alcaloïdes, les saponines, les terpénoïdes, les stéroïdes, les protéines, les lipides, les glucides et les polyphénols dont les flavonoïdes, les anthocyanes et les tanins condensés y sont présents. La pulpe de ces bananes contient en moyenne 17,95 mgEAG/gMS de polyphénols totaux ; 11,83 mgEQ/gMS de flavonoïdes totaux ; 2,24 mgEC/gMS de tanins condensés et 0,011 mgEC3G/gMS d'anthocyanes totaux. L'activité réductrice est de 24,37 mgET/gMS par la méthode FRAP et antiradicalaire de 26,87 mgET/gMS et 81,32% en moyenne, respectivement par les méthodes ABTS et DPPH. On en déduit que la pulpe de ces fruits est riche en polyphénols, spécialement les flavonoïdes et exhibe une forte activité antioxydante. Par conséquent, elle peut servir à la préparation des vins, jus et purées qui seront plus consommés pour leur propriété antioxydante bénéfique à l'homme à la place de la pulpe qui contient des graines volumineuses.

**Mots-clés :** bananier à graine, polyphénols, pouvoir antioxydant, Réserve de Biosphère de Yangambi.

### Abstract

#### Evaluation of polyphenols and antioxidant capacities of fruits of *Musa acuminata* Colla subsp. *burmannicoïdes* De Langhe, an asian wild banana acclimated in the Yangambi area, DR Congo

*Musa acuminata* subsp. *burmannicoïdes* is a wild banana introduced from Burman half a century ago and well acclimated in the Yangambi Biosphere Reserve where it is growing spontaneously. Pulp of its fruits contains voluminous seeds impeding its consumption. For their valorization, the phenolic composition and the antioxidant capacities of this pulp was determined. Qualitatively, phytochemical classes were detected; quantitatively polyphenols, flavonoids, anthocyanins and condensed tannins were determined and reducing (FRAP) and antiradical (ABTS and DPPH) activities were evaluated. Results have showed that alkaloids, saponins, terpenoids, steroids, proteins, lipids, carbohydrates and polyphenols including flavonoids, anthocyanins and condensed tannins are present in this pulp. It contains 17.95 mgGAE/gDM of total polyphenols; 11.83 mgQE/gDM of total flavonoids; 2.24 mgCE/gDM of condensed tannins and 0.011 mg C3GE/gDM of total anthocyanins. Its reducing activity is 24.37 mgTE/gMS by FRAP assay and the antiradical activities are 26.87 mgTE/gMS and 81.32% respectively by ABTS and DPPH assays. This pulp is rich in polyphenols, especially flavonoids and exhibit a strong antioxidant activity. Thus, it can be process in wines, juices and purees which are consumed for their benefic antioxidant property to human given that it is not directly consumed because of the presence of these seeds.

**Keywords:** seed banana, polyphenols, antioxidant power, Yangambi Biosphere Reserve.

<sup>1</sup>Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi (IFA-Yangambi), Département de Chimie et Industries Agricoles, B.P. 1232 Kisangani (RD Congo)

<sup>2</sup>Université de Kisangani, Faculté des Sciences, Laboratoire de Génétique, Amélioration des Plantes et Biotechnologie, B.P. 2012 Kisangani (RD Congo)

<sup>3</sup>Katholieke Universiteit Leuven, Faculty of Sciences, Department of Biology, B-3000 Leuven (Belgium)

<sup>4</sup>Katholieke Universiteit Leuven, Faculty of Bioscience Engineering, Laboratory of Tropical Crop Improvement, B-3001 Leuven (Belgium)

**Titre courant :** polyphénols et capacité antioxydante de *Musa acuminata burmannicoïdes*

**Auteur correspondant :** Ndjango Ndjimani Edouard, Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi (IFA-Yangambi), Département de Chimie et Industries Agricoles, B.P. 1232 Kisangani (RD Congo)

E-mail : [ndjimani2005@yahoo.fr](mailto:ndjimani2005@yahoo.fr), Tél : +243811062335/+243896187130

### 1. Introduction

Les bananiers (*Musa* spp) sont d'importantes plantes alimentaires dans plusieurs pays d'Afrique. Ils existaient depuis la préhistoire en Afrique équatoriale (Neumann and Hilderbrand, 2009) qui est l'un de leurs centres de diversification secondaire (De Langhe, 2000). Ils sont classés en espèces diploïdes à graines et en clones à fruits parthénocarpiques (Brun, 1962).

En République Démocratique du Congo (RD Congo), c'est dans l'Est du pays qu'est concentrée la production des bananes qui varie entre 75.000 et 80.000 tonnes/an. La majorité d'espèces cultivées appartiennent à la section Eumusa, au genre *Musa* dans lequel les espèces sont issues de deux ancêtres diploïdes *Musa acuminata* (génomme AA) et *M. balbisiana* (génomme BB) dont les origines respectives sont la Malaisie et l'Inde (Tenkouano et al., 2007 ; Davey et al., 2006). On compte parmi

les espèces diploïdes à graines, une sous-espèce dénommée *Musa acuminata* Colla *burmannicoïdes* De Langhe, originaire de Birmanie, introduite dans la Réserve de Biosphère de Yangambi depuis plus d'un demi-siècle (De Langhe et Devreux, 1960). Bien acclimaté, ce bananier produit des fruits dont la pulpe, de petite taille, contient des graines volumineuses noires (Cheesman, 1948). Par conséquent, les fruits ne sont pas utilisés pour la consommation alimentaire et abandonnés dans la nature. En vue de les valoriser à travers la transformation alimentaire, il nous a importé de déterminer préalablement leur composition phénolique et évaluer leurs capacités antioxydantes dans les conditions écoclimatiques de Yangambi.

Plusieurs auteurs ont analysé qualitativement et quantitativement différents organes des bananiers. En effet, Imam et Akter (2011) ont montré que *Musa paradisiaca* et *M. sapientum* contiennent les hydrates de carbone, les catécholamines, les pectines, les flavonoïdes, les tanins, l'amidon, les sucres cristallisables ou non, les vitamines C et du groupe B, les albuminoïdes et les lipides. Rao et al (2012) ont indiqué que les extraits éthanoliques des pulpes des fruits mûres et non mûres de *Musa paradisiaca* cv. Bontha contiennent des alcaloïdes, des flavonoïdes, des stéroïdes, des tanins, des xanthoprotéines et des glycosides. Venkatesh et al. (2013) ont trouvé que les extraits éthanoliques de bulbe des bananiers *Musa paradisiaca* var. Puttabale et *Musa acuminata* cv. Grande naine contiennent les stéroïdes, les flavonoïdes, les glycosides, les terpénoïdes, les tanins et les quinones alors que les alcaloïdes et les saponines y sont absents. Pereira et Maraschin (2015) ont publié que les bananiers cultivés au Brésil contiennent dans leurs pulpes des composés phénoliques (24,23 mg d'équivalent acide gallique dans 100 g de pulpe séchée), des flavonoïdes totaux (2,41 mg d'équivalent quercétine dans 100 g de pulpe séchée) et une activité antioxydante (5,26  $\mu\text{mol Fe (II)}$  dans un gramme de pulpe fraîche et 68% d'inhibition respectivement pour FRAP et DPPH). Agrawal et al. (2016) ont trouvé que les extraits d'acétate d'éthyle des feuilles de *Musa acuminata* récoltées en Inde contiennent les saponines, les tanins, les flavonoïdes, les alcaloïdes, les hydrates de carbone, les terpénoïdes et les composés phénoliques. Umamaheswari et al. (2017) ont publié que les bractés de *Musa acuminata* en Inde contiennent les alcaloïdes, les saponines, les polyphénols, les tanins et les flavonoïdes. Enfin, Mathew et Negi (2017) ont montré que les extraits éthanoliques des pulpes de *Musa acuminata* exhibent une activité antioxydante (23 à 33  $\mu\text{mol}$  d'équivalent Trolox dans un gramme de pulpe séchée). Ceci indique que les différents organes des bananiers contiennent des teneurs importantes des polyphénols et flavonoïdes et leurs activités antioxydantes sont élevées. Nous pensons que les pulpes des fruits de *M. acuminata* subsp. *burmannicoïdes* contiendraient des métabolites primaires et secondaires nutritifs et bioactifs à l'instar des autres bananiers.

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1 Matériel

Le matériel biologique est constitué des fruits verts en début de mûrissement de *M. acuminata* subsp. *burmannicoïdes* récoltés à la Cité Lumumba (00°48'58,7"N; 24°27'21,8"E; 460m d'altitude) dans la Réserve de Biosphère de Yangambi (RBY). L'identification de l'espèce a été faite au Laboratoire d'Ecologie et Gestion des Ressources Végétales du Département de Biologie de la Faculté des Sciences de l'Université de Kisangani.

La figure 1 montre un fruit entier non épluché, les fruits

entiers et épluchés ainsi que la pulpe montrant des graines volumineuses noires.



Fig. 1. Fruit entier, fruits épluchés et la pulpe montrant des graines volumineuses noires.

Les matériels techniques sont les appareils (balance électronique Kern EW220-3NM (Allemagne), réfrigérateur Sharp SJ-P172K-SL (Japon), Spectrophotomètre SP-2100 (Chine)), les solvants (méthanol, éthanol absolu, chloroforme Loba Chemie Pvt (Inde) et eau distillée), les acides et bases (acide sulfurique, acide acétique glacial, acide chlorhydrique, soude caustique Loba Chemie Pvt (Inde) et acide gallique Sigma-Aldrich (Belgique)), divers réactifs (Folin-ciocalteu, vanilline, quercétine, catéchine, trolox (acide 6-hydroxy-2,5,7,8-tétraméthylchromane-2-carboxylique), acide 2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique (ABTS), 2,4,6-tri(2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ), 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle (DPPH) Sigma-Aldrich (Belgique)), iode, iodure de potassium, persulfate de potassium, nitrate de sodium, carbonate de sodium, chlorure ferrique Merck (Allemagne)). A ceux-ci s'ajoutent la verrerie et d'autres matériels (spatule, tube d'extraction, papier filtre).

### 2.2 Méthodes

#### 2.2.1 Obtention de la poudre de la pulpe

Les fruits ont été épluchés manuellement, leurs pulpes séchées à la température ambiante à l'air libre, puis moulues. Les poudres obtenues ont été gardées dans des sachets opaques en polystyrène pour les analyses ultérieures qui sont :

#### 2.2.2. Analyses phytochimiques qualitatives

Les groupes phytochimiques ont été détectés dans les poudres en trois répétitions selon différents protocoles avec quelques modifications comme suit:

**Alcaloïdes** : le test de Wagner par lequel les alcaloïdes ont été détectés a consisté à additionner quelques gouttes d'une solution d'iodure de potassium (2g) et d'iode (1,27g) dans 100ml d'eau distillée dans le filtrat (0,15g de poudre dans 60ml d'acide chlorhydrique 1%, agité pendant 5 minutes et filtré) et à observer la formation d'un précipité brun indiquant la présence des alcaloïdes totaux (Harbone, 1973 ; Joshi et al., 2013 ; Mathew & Negi, 2017).

**Saponines** : le test à la mousse qui a permis de détecter les saponines a consisté à dissoudre 1g de poudre dans 10ml d'eau distillée et à observer, après agitation de 5 minutes, la formation d'une mousse persistante indiquant la présence des saponines totaux (Harbone, 1973 ; Banso et al., 2006).

**Glycosides cardiaques** : ils ont été détectés par le test de Keller-Kiliani qui a consisté à dissoudre 0,5g de poudre dans 5ml

d'eau distillée, à l'agiter et à filtrer. A la solution obtenue, 2ml d'acide acétique glacial contenant quelques gouttes de chlorure ferrique 5% sont ajoutés, suivis de 1ml d'acide sulfurique concentré le long du tube et à observer la formation d'halo brun à l'interface indiquant la présence des glycosides cardiaques (Abdullahi *et al.*, 2013).

**Terpénoïdes** : le test de Salkowski grâce auquel les terpénoïdes ont été détectés a consisté à mélanger 5ml d'extrait avec 2ml de chloroforme. 3ml d'acide sulfurique concentré sont lentement ajoutés pour former une couche. Une coloration rouge-brun de cette couche indique un test positif (Sofowara, 1990 ; Himour *et al.*, 2016 ; Ayoola *et al.*, 2008).

**Tanins condensés** : on dissout 0,5g de poudre dans 10ml d'eau distillée et on filtre. Quelques gouttes de chlorure ferrique 5% sont ajoutées et une coloration noire ou bleu-vert ou une formation du précipité indiquent la présence des tanins. C'est le test au chlorure ferrique (Banso *et al.*, 2006).

**Flavonoïdes** : ils ont été détectés par le test au réactif alcalin en ajoutant quelques gouttes de la solution diluée d'hydroxyde de sodium à 1ml d'extrait (solution de 0,5g de poudre dans 5ml d'eau distillée, agitée et filtrée) et à observer l'apparition d'une couleur jaune intense, qui disparaît par l'addition de quelques gouttes d'acide sulfurique dilué (Harbone, 1973).

**Anthocyanes** : ils ont été détectés par le test à l'alcool iso-amylé en mélangeant 1ml de l'extrait (1g de poudre dans 10ml de mélange eau-méthanol (30:70), agité, filtré), 1ml d'éthanol chlorhydrique et 1ml d'alcool iso-amylé. Ce mélange, chauffé légèrement pendant 15 minutes, fait apparaître une coloration rouge-cérisse violacée (Harbone, 1973).

**Polyphénols** : ils ont été détectés par le test au chlorure ferrique. On ajoute à une solution de 0,5g de poudre dans 5ml d'eau distillée et filtrée, quelques gouttes d'une solution de chlorure ferrique 5% et on observe l'apparition d'une coloration vert sombre indiquant la présence des polyphénols (Sofowara, 1990 ; Harbone, 1973).

**Stéroïdes** : ils ont été détectés par le test de Liebermann-Burchard comme suit : A 2ml d'extrait dissouts dans 2ml de chloroforme, 2ml d'acide acétique sont ajoutés le long de la paroi puis 2ml d'acide sulfurique concentré. Le changement de la couleur violette en verdâtre indique la présence des stéroïdes (Sofowara, 1990 ; Ayoola *et al.*, 2008).

**Protéines** : elles ont été détectées par le test à la ninhydrine. On ajoute à 3ml de l'extrait, 4 gouttes de ninhydrine et on chauffe. L'apparition de la couleur pourpre ou violette indique la présence de protéine (Buvaneswari *et al.*, 2011).

**Lipides** : ils ont été détectés par le test de saponification. Quelques gouttes de la solution alcoolique d'hydroxyde de potassium 0,5N sont ajoutées dans une petite quantité d'extrait le long de la paroi avec une goutte de phénolphtaléine. Le mélange est chauffé dans un bain-marie à 60°C pendant 2 heures. La formation de savon ou la neutralisation partielle d'alcali indique la présence de lipides (Imam & Akter, 2011).

**Sucres non réducteurs** : le test de Benedict a permis de mettre en évidence les sucres non réducteurs. A 0,5ml de filtrat, 0,5ml de réactif de Benedict a été ajouté. Le mélange est chauffé dans une eau bouillante pendant 2 minutes. Une coloration caractéristique de précipité indique la présence d'hydrates de carbone (Buvaneswari *et al.*, 2011).

L'extraction des composés phénoliques a été faite comme suit : 5 grammes de poudre délipidée ont été macérés 24 heures dans 75 ml d'une solution méthanol-eau (80:20). Le mélange a été vigoureusement agité pendant 5 minutes, filtré sur papier-filtre et le résidu a été lavé avec 25ml de solvant d'extraction jusqu'à l'obtention de 100ml d'extrait. Le filtrat a été conservé au réfrigérateur à -10°C et a servi au dosage des composés phénoliques et à l'évaluation des capacités antioxydantes.

**Polyphénols totaux** : Le réactif de Folin-Ciocalteu a été utilisé pour doser les polyphénols selon le protocole publié par Lako *et al.* (2008), moyennant des petites modifications. 0,3ml d'extrait méthanolique (80v/20v) a été placé dans un tube à essai, puis mélangé avec 2,7 ml de mélange méthanol-eau (8:2) et 0,7 ml de réactif de Folin-Ciocalteu à 10%. Le mélange a été agité et laissé reposer pendant 5 minutes. 0,7 ml de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 10% ont été ensuite ajoutés et le mélange a été reposé pendant 90 minutes à la température ambiante, avant de mesurer son absorbance à 760 nm. Le blanc a été préparé dans les mêmes conditions, en substituant 0,3ml d'extrait hydrométhanolique par 0,3ml d'eau distillée. La courbe d'étalonnage a été tracée grâce aux concentrations d'acide gallique (0 à 50 µg/ml) correspondant aux absorbances. La teneur en polyphénols totaux (PPT) en milligramme d'équivalent d'acide gallique par gramme de matière sèche (mgEAG/gMS) a été calculée par la formule :  $PPT = \frac{(A_{ECH} - b)}{a \cdot Q} \cdot V \cdot f \cdot F$  où  $A_{ECH}$  = absorbance de l'échantillon à 760 nm ; b = ordonnée à l'origine de la courbe d'étalonnage ; V = volume total de l'extrait (100 ml) ; f = facteur de dilution (10) ; a = pente de la courbe ; Q = quantité de matière végétale utilisée (5 g) et F = coefficient de corrélation.

**Flavonoïdes** : Le dosage des flavonoïdes a été effectuée par la méthode publiée par Krishna (2010) et Yen (2008) grâce à la mesure de l'absorbance à la longueur d'onde de 510 nm. Dans un tube à essai, a été placé 0,3 ml d'extrait auquel ont été ajoutés 2,7 ml de mélange méthanol-eau (8:2) et 0,1 ml de NaNO<sub>2</sub> 5%. Le mélange a été agité et laissé reposer pendant 5 minutes. 0,1 ml de AlCl<sub>3</sub> 10% a été ajouté et enfin 0,5 ml de NaOH 1M. L'absorbance a été mesurée à 510 nm contre le blanc qui est préparé et incubé dans les mêmes conditions, mais en substituant l'extrait par l'eau distillée. La courbe d'étalonnage a été tracée grâce aux concentrations de quercétine (0 à 50 µg/ml) correspondant aux absorbances. La teneur en flavonoïdes totaux (FT) exprimée en milligramme d'équivalent de quercétine par gramme de matière sèche (mgEQ/gMS) a été calculée par la formule :  $FT = \frac{(A_{ECH} - b)}{a \cdot Q} \cdot V \cdot f \cdot F$  en référence aux polyphénols totaux.

**Tanins condensés** : 0,3 ml d'extrait est mis dans un tube puis 2,7 ml de mélange méthanol-eau (8:2) y ont été ajoutés suivis de 3 ml de vanilline 4% (p/v) dans du méthanol. Après agitation vigoureuse, 1,5 ml de HCl concentré sont immédiatement ajoutés et le mélange est agité. L'absorbance est mesurée à 500 nm après 20 min d'incubation (Julkunen-Titto, 1985). La catéchine est utilisée comme standard aux concentrations de 0 à 50µg/ml pour la courbe d'étalonnage et les résultats sont exprimés en milligramme d'équivalent catéchine par gramme de matière sèche (mgEC/gMS). La teneur en tanins condensés (TC) est déterminée par la relation en référence aux polyphénols totaux.  $TC = \frac{(A_{ECH} - b)}{a \cdot Q} \cdot V \cdot f \cdot F$

**Anthocyanes totaux** : la méthode spectrophotométrique différentielle de pH (Giusti & Wrolstad, 2001) a été appliquée au cours de cette analyse. Elle est basée sur la détermination de

l'absorbance  $A = (A_{\lambda,520nm} - A_{\lambda,700nm})_{pH1,0} - (A_{\lambda,520nm} - A_{\lambda,700nm})_{pH4,5}$  des solutions préparées avec deux tampons (chlorure et acétate) à deux longueurs d'onde (520 et 700 nm). Brièvement, 0,3 ml d'extrait est dilué dans 2,7 ml de chacun des tampons (chlorure de potassium 0,025M à pH1,0 et acétate de sodium 0,4M à pH4,5). Les solutions obtenues sont laissées au repos pendant 15 minutes à la température ambiante avant la mesure de leurs absorbances respectives. Le contenu en anthocyanes totaux (AT) est exprimé en gramme d'équivalent de cyanidine-3-glucoside (C3G) par gramme de matière sèche et est calculée par la formule suivante :  $AT = \frac{A \cdot M \cdot V \cdot f \cdot 1000}{\varepsilon \cdot d \cdot Q}$  où A = absorbance ; M = masse molaire de C3G (449,38 g/mole) ; V = volume total de l'extrait (100 ml) ; f = facteur de dilution (10) ;  $\varepsilon$  = coefficient d'extinction molaire de C3G (26900 l/mol.cm) ; d = longueur de la cuvette (1 cm) ; Q = quantité de matière végétale utilisée (5 g) et 1000 = facteur de conversion de g en mg.

#### 2.2.4. Évaluation des capacités antioxydantes

**Méthode FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) :** Le réactif FRAP a été préparé en mélangeant 100ml d'acétate de sodium 300mM, 10ml de TPTZ 10mM et 10ml de  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  20mM. La solution de Trolox a été utilisée comme standard pour des concentrations allant de 0–250 $\mu$ g/ml pour la courbe d'étalonnage (Thaipong *et al.*, 2006 ; Gan *et al.*, 2010). 0,15ml de solution standard et 0,15ml d'extrait ont été mélangés chacun avec 2,85ml de réactif FRAP et les solutions obtenues ont été laissés réagir pendant 30 minutes à l'abri de la lumière. Leur absorbance a été mesurée à 593nm. L'activité antioxydante (AA) est donnée en milligramme équivalent de Trolox par gramme de matière sèche (mgET/gMS) d'après la formule suivante : où  $A_{ECH}$  = absorbance de l'échantillon ; b = ordonnée à l'origine de la courbe d'étalonnage ; V = volume total de l'extrait (100 ml) ; f = facteur de dilution (10) ; a = pente de la courbe d'étalonnage ; Q = quantité de matière végétale utilisée (5g) et F = coefficient de corrélation.

**Méthode ABTS :** La solution stock de ABTS<sup>+</sup> a été préparée par mélange des solutions 7,4mM ABTS et 2,6mM de persulfate de potassium dans le rapport 1:1 et laissée réagir pendant 12 heures à la température ambiante et à l'obscurité. La solution de travail de ABTS<sup>+</sup> a été préparée par dilution de 3 ml de solution-mère dans 2,7ml de solution méthanolique. Des solutions de trolox ont été préparées dans l'intervalle des concentrations allant de 0 à 150 $\mu$ g/ml. 0,15ml de différentes solutions de trolox et 0,15ml d'extrait ont été placés dans différents tubes à essais. 2,85ml de solution de travail de ABTS a été ajouté dans chaque tube. Ces tubes ont été placés à l'obscurité pendant 30 minutes. Leurs absorbances ont été mesurées à 734nm (Thaipong *et al.*, 2006 et Gan *et al.*, 2010). L'activité antiradicalaire (AA) a été exprimée en milligramme d'équivalent de trolox (mgET/gMS) et calculée par la formule : où  $A_{ECH}$  = absorbance de l'échantillon ; b = ordonnée à l'origine de la courbe d'étalonnage ; V = volume total de l'extrait (100ml) ; f = facteur de dilution (10) ; a = pente de la courbe d'étalonnage ; Q = quantité de matière végétale utilisée (5g) et F = coefficient de corrélation.

**Méthode DPPH :** La capacité de piégeage des radicaux libres de l'extrait a été déterminée grâce au radical DPPH (Abdulwahab *et al.*, 2011) moyennant quelques modifications. Une solution-stock de 1mM de DPPH a été préparée dans le méthanol et gardée à -10°C jusqu'à l'utilisation. Une solution de travail de 0,1mM de DPPH a été préparée en diluant 1ml de

solution-stock avec 9ml de méthanol. 1,5ml d'extrait de poudre de pulpes des bananes ont été placés dans un tube et 1,5ml de solution de travail de DPPH ont été ajoutés. Dans un autre tube, 1,5ml de méthanol ont été mélangés avec 1,5ml de solution de travail de DPPH ; cette nouvelle solution est le témoin. Les deux tubes ont été gardés à l'obscurité pour 30 minutes, et leurs absorbances ont été mesurées à 517nm. Le pourcentage d'inhibition (I) a été calculé avec la formule suivante :  $\%I = \frac{A_s - A_t}{A_s} \cdot 100$  où  $A_s$  est l'absorbance de l'essai et  $A_t$  l'absorbance de témoin.

### 3. Résultats

Les analyses réalisées sur les poudres de ces bananes ont donné les résultats suivants :

#### 3.1 Analyses phytochimiques qualitatives

Le tableau 1 résume les résultats des tests qualitatifs des groupes phytochimiques.

Ce tableau indique que les pulpes des fruits des bananiers Tableau 1. Tests qualitatifs des groupes phytochimiques des pulpes des bananes sauvages.

Groupes phytochimiques	Résultats
Alcaloïdes	+
Saponines	+
Glycosides cardiaques	-
Terpénoïdes	+
Tanins condensés	+
Polyphénols	+
Flavonoïdes	+
Anthocyanes	+
Stéroïdes	+
Protéines	+
Lipides	+
Hydrates de carbone	+

analysés renferment tous les groupes phytochimiques testés hormis les glycosides cardiaques. On y trouve en effet les alcaloïdes, les saponines, les terpénoïdes, les tanins condensés, les flavonoïdes, les anthocyanes, les polyphénols, les stéroïdes, les protéines, les lipides et les glucides.

#### 3.2. Concentrations des composantes phytochimiques quantitatives

Les concentrations moyennes des composantes dosées dans les pulpes sont résumées dans le tableau 2.

Ce tableau indique que la concentration moyenne des Tableau 2. Concentrations moyennes des composantes secondaires des pulpes des bananes sauvages.

Paramètres	Concentrations
Polyphénols totaux	17,95 $\pm$ 0,19 mgEAG/gMS
Flavonoïdes totaux	11,83 $\pm$ 1,39 mgEQ/gMS
Tanins condensés	2,25 $\pm$ 0,06 mgEC/gMS
Anthocyanes totaux	0,011 $\pm$ 0,019 mgEC3G/gMS

polyphénols totaux s'élèvent à 17,95 mgEAG/gMS ; celle des flavonoïdes totaux est de 11,83 mgEQ/gMS. Les tanins condensés et les anthocyanes totaux ont des concentrations respectives de 2,25 mgEC/gMS et 0,011 mgEC3G/gMS.

#### 3.3. Evaluation des capacités antioxydantes

Le tableau 3 présente les capacités réductrice et antiradicalaire moyennes des poudres de ces bananes.

La capacité réductrice des poudres de bananes analysées est

Tableau 3. Capacités antioxydantes moyennes des poudres des bananes analysées.

Paramètres	Concentrations
FRAP	24,37±0,17 mgET/gMS
ABTS	26,867±0,09 mgET/gMS
DPPH	81,32±0,23%

évaluée à 24,37 mg d'équivalent Trolox par g de poudre pour la méthode FRAP et les capacités antiradicalaires sont évaluées à 26,86 mg d'équivalent Trolox par g de poudre pour la méthode ABTS et 81,32% pour la méthode au DPPH.

## 1. Discussion

### 1.1. Analyses phytochimiques qualitatives

Les bananes sont connues comme des fruits dont les différentes parties contiennent différents métabolites secondaires tels que les polyphénols (Verde-Mendez *et al.*, 2003). En effet, les résultats ci-dessus corroborent avec ceux de Mathew et Negi (2017) qui ont reporté que les différentes parties (pulpe, peau, fleur, feuille, pseudotrunc et rhizome) de *Musa acuminata* sont riches en composés phytochimiques tels que saponines, terpénoïdes, stéroïdes, anthocyanes, acides gras, tanins, phénols et alcaloïdes dont la quantité varie avec la méthode d'extraction.

Imam et Akter (2011) ont montré à leur tour que les pulpes des bananiers *Musa sapientum* et *M. paradisiaca* contiennent les hydrates de carbone dont l'amidon, les tanins et les lipides, constituants que contiennent également les pulpes de *M. acuminata* subsp. *burmannicoïdes*.

Les travaux de Rao *et al.* (2012) démontrent également que les pulpes de *Musa paradisiaca* cv. Bontha ont plusieurs métabolites secondaires dont les alcaloïdes, les flavonoïdes, les saponines, les stéroïdes, les tanins, les xanthoprotéines et les glycosides comme trouvés dans les poudres des bananes étudiées.

Les bananiers sauvages comme ceux cultivés produisent des fruits dont les pulpes contiennent des composés phytochimiques (métabolites secondaires) utiles au bon fonctionnement de l'organisme humain ou animal. Wang *et al.* (1997) ; Bae *et al.* (2008) ; Kawasaki *et al.* (2008) et Wright *et al.* (2008) ont indiqué que la fréquente consommation des bananes pourrait être corrélée au retardement de la vieillesse et à la prévention de certaines maladies incluant le cancer et les maladies cardiovasculaires liées au stress oxydatif causé par les radicaux libres qui sont responsables des dommages sur les lipides, protéines et acides nucléiques dans les cellules aboutissant à plusieurs anomalies physiologiques et pathologiques.

### 1.2. Analyses phytochimiques quantitatives

Une étude menée par Shian *et al.* (2011) a montré des concentrations en polyphénols totaux dans les extraits de trois cultivars de la banane (Berangan, Mas et Raja) de l'ordre respectif de 348,2 ; 525,8 et 395,1 mgEAG/100g d'échantillon correspondant à 3,482 ; 5,258 et 3,951 mg EAG/g d'échantillon extrait avec le méthanol 70% et 4,038 ; 6,968 et 11,395 mg EAG/g d'échantillon extrait avec le méthanol 100%. Ces teneurs sont toutes inférieures à celle trouvée dans cette étude (17,95 mg EAG/gMS).

La concentration des flavonoïdes totaux dans l'échantillon analysé est de 11,83 mg EQ/g MS équivalant à 3,659 mg

EQ/g MF (pour 67,5% d'humidité). Cette concentration est supérieure à celle de banane (0,21mg EQ/g MF) et de prune (2,20 mg EQ/gMF) (Sapcanin *et al.*, 2017). Ceci indique que les bananes analysées sont une source importante des flavonoïdes totaux.

Les tanins condensés ont la concentration moyenne de 2,248 mg EC/gMS. Il s'ensuit que l'extrait méthanolique des fruits de l'aubépine (*Crataegus azarolus* L.), une plante médicinale d'Algérie (Abdessemed *et al.*, 2011) en contient 31 mg EC/g MS ; une valeur de loin supérieure à celle des pulpes des bananes sauvages analysées.

Enfin, la concentration des anthocyanes totaux qui est de 0,0111 mg EC3G/g MS équivalant à 0,00344 mgEC3G/gMF (à 67,5% d'humidité) est de loin inférieure à celles publiées par Rodrigues *et al.* (2011) qui vont de 40,62 à 378,31 mg EC3G/100g MF, soit 0,4 à 3,78 mg EC3G/gMF pour les fruits de myrtille.

Il se dégage de cette analyse que les pulpes des bananes analysées contiennent une concentration importante des polyphénols, particulièrement les flavonoïdes et très peu d'anthocyanes et de tanins.

### 1.3. Evaluation des capacités réductrice et antiradicalaire

Ruiz-Torralba *et al.* (2018) ont déterminé la capacité réductrice par la méthode FRAP des différents fruits vendus en Espagne. Parmi ceux-ci, la banane (*Musa paradisiaca*) a 135 µmol d'équivalent Trolox/100g MF équivalant à 1,668 mg ET/gMS (avec un taux d'humidité de 79,9%), valeur de loin inférieure à celle de l'échantillon analysé (24,37 mg ET/gMS). La fraise (*Fragaria vesca*) a 1153 µmol ET/100g MF équivalant à 36,99 mg ET/g MS (avec un taux d'humidité de 92,2%), valeur plutôt supérieure à celle trouvée pour l'échantillon étudié.

Rufino *et al.* (2010) ont analysé 18 fruits tropicaux non traditionnels du Brésil et ont trouvé que la capacité antiradicalaire des bananes évaluées par la méthode ABTS va de 6,3 µmol d'équivalent Trolox/g MF, soit 13,06 mg ET/g MS (avec 87,9% d'humidité) pour Umbu (*Spondias tuberosa*) à 153 µmol ET/g MF équivalant à 376,35 mg ET/g MS (avec 89,8% d'humidité) pour Camu-camu (*Myrciaria dubia*) ; intervalle qui inclut la concentration trouvée pour l'échantillon analysé (26,86 mg ET/gMS). En outre, parmi ces fruits, ceux de Caju (*Anacardium occidentale*) présentent une capacité réductrice de 11,2 µmol ET/g MF équivalant à 21,45 mg ET/g MS (avec 86,9% d'humidité) qui est légèrement inférieure à celle de l'échantillon étudiée.

Fatemeh *et al.* (2012) ont publié que les pulpes des bananes ont une capacité antiradicalaire par la méthode de DPPH de 26,55 à 52,66% ; valeur bien inférieure à celle trouvée dans cette analyse (81,32%). Dans cet intervalle se situe cependant la valeur publiée par Abou-Elella et Mourad (2015) qui est de 33% pour la pulpe de banane *Musa acuminata*. Cependant, Krishnan et Sinija (2016) ont trouvé que les extraits éthanoliques des fleurs de la variété Poovan des bananes Blossom de l'Inde ont la capacité de piéger le DPPH jusqu'à 82%, valeur très rapprochée de celle obtenue dans la présente étude.

Il s'ensuit que les pulpes des bananes sauvages analysées exhibent une importante activité antioxydante compte tenu des résultats obtenus.

Mathew et Negi (2017) ont indiqué que *Musa acuminata* Colla est une espèce bananière sauvage originaire d'Asie du Sud-est qui est utilisée pour ses activités physiologiques du fait de sa forte concentration en polyphénols. Ces auteurs ont reporté

en effet que toutes les parties des plantes de cette espèce sont traditionnellement utilisées pour traiter plusieurs maladies (infections, anémie, hypertension, diabète, tuberculose, ...) et leur analyse phytochimique a montré une diversité riche en composés phytochimiques comme les acides gras, les tanins, les phénols, les alcaloïdes, les glycosides, les saponines, les terpénoïdes, les stéroïdes, les anthocyanes, les sucres, les protéines, les stérols et les anthroquinones et une forte concentration en composés phénoliques comme trouvée au cours de cette analyse.

La forte activité antioxydante des pulpes des fruits de *Musa acuminata* subsp. *burmannicoïdes* analysées est due à leur forte concentration en flavonoïdes ayant entr'autres des propriétés antiallergique, hépatoprotectrice, anti-thrombotique, anti-inflammatoire, antiulcérogénique et anticarcinogénique (Philip et al., 2015 ; Sumathy et al., 2011) et tanins (Sumathy et al., 2011). Ainsi, une boisson préparée à base des pulpes des bananes sauvages analysées apportera des métabolites secondaires dont l'activité antioxydante sera bénéfique à l'homme.

## 2. Conclusion

Les pulpes des fruits du bananier asiatique sauvage *Musa acuminata* subsp. *burmannicoïdes* acclimaté dans la Réserve de Biosphère de Yangambi contiennent, comme les autres bananiers comestibles, un panel des composés phytochimiques dont les polyphénols à forte concentration, particulièrement les flavonoïdes.

Leur forte capacité antioxydante montre que celles-ci sont une source importante des molécules capables d'éliminer les radicaux libres causant des dommages métaboliques à l'organisme d'une part et qui protègent celui-ci des dysfonctionnements physiologiques.

Compte tenu de la forte teneur en glucides des bananes mûres, ces dernières peuvent être utilisées comme sources d'hydrates de carbone au cours de la production des boissons (vin, jus) riches en flavonoïdes ayant le pouvoir antioxydant et antiradicalaire est élevé étant donné qu'à cause des graines qu'elles contiennent, leur consommation alimentaire directe est quasi-nulle à Yangambi, ce qui est la principale cause de leur perte. Leur transformation permettrait donc de tirer pleinement profit de ces composés.

## 3. Remerciements

Les auteurs remercient la Coopération Belge au Développement (Enabel/RD Congo) pour le financement et le laboratoire de santé publique de la Province de Tshopo (RD Congo) pour les analyses spectrométriques.

## 4. Bibliographie

- Abdessemed H., Leila H., Abdeddaim M. & Cherif A.M., 2011. Dosage de métabolites secondaires d'extraits du fruit *Crataegus azarolus* L. Tunisian J. Med. Plants and Nat. products 6: 53-62.
- Abdullahi M.N., Ilyas N. and Ibrahim H., 2013. Evaluation of phytochemical screening and analgesic activity of aqueous extract of the leaves of *Microtrichia perotitii* dc (Asteraceae) in mice using hotplate method. Med. Plant Res. 3: 37-43.
- Abdulwahab N.Z., Shahar S., Abdullah-Sani H., Pihie A.H. & Ibrahim N., 2011. Antioxidant, antibacterial and antiviral properties of *Goniothalamus umbrosus* leaves methanolic extract. Afr. J. Micro. Res. 5: 3138-3143.
- Abou-Ellella F. & Mourad R., 2015. Anticancer and antioxidant potentials of ethanolic extracts of *Phoenix dactylifera*, *Musa acuminata* and *Cucurbita maxima*. Res. J. of Pharm, Biol. and Chem. Sci. 6(1): 710-720.

- Agrawal P.K., Chanyal S. & Bisht R., 2016. Antimicrobial and phytochemical analysis of leaf extract of medicinal fruit plants. Asian J. of Pharm. and Clin. Res. 9(4): 131-136.
- Ayoola G.A., Coker H.B., Adesegun S.A., Adepoju-Bello A.A., Obaweya K., Ezennia E.C. & Atangbayila T.O., 2008. Phytochemical screening and antioxidant activities of some selected medicinal plants used for malaria therapy in southwestern Nigeria. Trop. J. Pharm. Res. 7: 1019-1024.
- Bae J.M., Lee E.J. & Guyatt G., 2008. Citrus fruit intake and pancreatic cancer risk: a quantitative systematic review. Pancreas 38: 168-174.
- Banso A. & Adeyemo S., 2006. Phytochemical screening and antimalarial assessment of *Abutilon mauritianum*, *Bacopa monnifera* and *Datura stramonium*. Biokemistri 18: 39-44.
- Brun J., 1962. Etude préliminaire sur l'utilisation des variétés de bananiers résistantes dans la lutte contre la cercosporiose. Fruits 17(3): 113-119.
- Buvaneswari K., Ramamoorthy D. & Velanganni J., 2011. Preliminary phytochemical and antimicrobial activity studies on the leaves of the Indian Plant *Thevetia neriifolia* Juss. World J. of Agric. Sci. 7(6): 659-666.
- Cai Y.Z., Luo Q., Sun M. & Corke H., 2004. Antioxidant activity and phenolic compounds of 112 traditional Chinese medicinal plants associated with anticancer. Life sci. 74: 2157-2184.
- Cheesman E.E., 1948. Classification of the bananas. III : critical notes on the species *M. paradisiaca* and *M. sapientum*. Kew Bull. 2 : 106-117.
- Davey M.W., Kuelemans J. & Swennen R., 2006. Methods of efficient quantification of fruit provitamin A contents. J. of Chromatography 1136: 176-184.
- De Langhe E., 2000. Diversity in the genus *Musa*: its significance and its potential in K. Craenen et al. (Eds): proceedings I of International Symposium on Banana and Plantain for Africa. Acta Hort. 540: 84-88.
- De Langhe E.A. & Devreux M., 1960. Une sous-espèce nouvelle de *Musa acuminata* Colla. Bull. Jard. Bot. Brux. 30 : 355-388.
- Fatemeh S.R., Saifullah R., Abbas F.M.A. & Azhar M.E., 2012. Total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of banana pulp and peel fours: influence of variety and stage of ripeness. Int. Food Research J. 19(3): 1041-1046.
- Gan R-Y., Xu X-R., Song F-L., Kuang L. & Li H-B., 2010. Antioxidant activity and total phenolic content of medicinal plants associated with prevention and treatment of cardiovascular and cerebrovascular diseases. J. of Med. Plants Res. 4(22): 2438-2444.
- Giusti M.M. & Wrolstad R.E., 2001. Anthocyanins: characterization and measurement with UV-visible spectroscopy in Wrolstad R.E. (Ed): current protocols in food analytical chemistry. John Wiley & Sons Unit, New York, pp. 1-13.
- Harbone J.B., 1973. *Phytochemical Methods*. Chapman and Hall Ltd., London, UK, pp.49-188.
- Himour S., Yahia A., Belattar H. & Bellebcir L., 2016. Etude phytochimique des feuilles d'*Olea europaea* L. var Chemlel d'Algérie. J. of Biores. Valorization 1(1): 34-38.

21. Idris S., Ndukwe G.I. & Gimba C.E., 2009. Preliminary phytochemical screening and antimicrobial activity of seed extract of *Persea americana* (avocado pear). *Bayero J. of Pure and Applied Sci.* 2(1): 173-176.
22. Imam M.Z. & Akter S., 2011. *Musa paradisiaca* L. and *Musa sapientum* L. : a phytochemical and pharmaceutical review. *J. of Applied Pharm. Sci.* 1(5): 14-20.
23. Joshi A., Bhohe M. & Saatarkar A., 2013. Phytochemical investigation of the roots of *Grewia microcos* Linn. *J. Chem. Pharm. Res.* 5: 80–87.
24. Julkunen-Titto R., 1985. Phenolic constituents in the leaves of northern willows: methods for the analysis of certain phenolics. *J. of Agric. and Food Chem.* 33: 213-219.
25. Kawasaki B.T., Hurt E.M., Mistree T. and Farrar W.L., 2008. Targeting cancer stem cells with phytochemicals. *Molecular Interventions* 8: 174–184.
26. Krishna K.L., Mruthunjana K. & Patel J.A., 2010. Antioxidant and hepatoprotective potential of stem methanolic extract of *Justicia gendarusa* Burn. *Int. J. of Pharmacology* 6(2): 72-80.
27. Krishnan A.S. & Sinija V.R., 2016. Proximate composition and antioxidant activity of banana Blossom of two cultivars in India. *Int. J. of Agric. and Food Sci. Technol.* 7(1): 13-22.
28. Lako J., Trenerry V.C. & Rochort S., 2008. Routine analytical methods for use in south pacific regional laboratories for determining naturally occurring antioxidants in food. *Int. Food Res. J.* 15(3): 313-323.
29. Mathew N.S. & Negi P.S., 2017. Traditional uses, phytochemical and pharmacological properties of wild banana *Musa acuminata* Colla. *J. of Ethnopharmacol.* 196: 124–140.
30. Miliuskas G., Venskutonis P.R. & Van Beek T.A., 2004. Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. *Food Chemistry* 85: 231-237.
31. Neumann K. & Hildebrand E., 2009. Early bananas in Africa: the state of the art. *Ethnobotany Research and Applications* 7: 353-362.
32. Pereira A. & Maraschin M., 2015. Banana (*Musa* spp) from peel to pulp: ethnopharmacology, source of bioactive compounds and its relevance for human health. A review. *J. of Ethnopharmacology* 160: 149–163.
33. Philip D.C., Lavanya B., Sasirekha G.V. & Santhi M., 2015. Phytochemical Screening, antioxidant and antidiabetic activity of *Musa acuminata*, *Citrus sinensis* and *Phyllanthus emblica*. *Am. J. Pharm. Tech. Res.* 5: 557–564.
34. Rao M.N., Prasad S.H.K.R. & Jyothirmayi N., 2012. Efficacy of ripened and unripened fruit extracts of *Musa paradisiaca* L. (Bontha cultivar) against human pathogens. *Int. J. of Pharmacy and Pharmaceut. Sci.* 4(1): 455-460.
35. Rodrigues E., Poerner N., Rockenbach I.I., Gonzaga L.V. Mendes C.R. & Fett R., 2011. Phenolic compounds and antioxidant activity of blueberry cultivars grown in Brazil. *Cienc. Tecnol. Aliment. Campinas* 31(4): 911-917.
36. Rufino M.D.S.M., Alves R.E., S. De Brito E., Perez-Jimenez J., Saura-Calixto F. & Mancini-Filho J., 2010. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry* 121: 996-1002.
37. Ruiz-Torralba A., Guerra-Hernandez E.J. & Garcia-Villanova B., 2018. Antioxidant capacity, polyphenol content and contribution to dietary intake of 52 fruits sold in Spain. *CyTA – Journal of Food* 16(1): 1131-1138.
38. Sapcanin A., Salihovic M., Uzunovic A., Osmanovic A., Spirtovic-Halilovic, S. Pehlic E. & Jancan G., 2017. Antioxidant activity of fruits and vegetables commonly used in everyday diet in Bosnia and Herzegovina. *Bull. of the chemists and technologists of Bosnia and Herzegovina* 49: 15-18.
39. Shian T.E., Abdullah A., Musa K.H., Maskat M.Y. & Ghani M.A., 2011. Antioxidant properties of three banana cultivars *Musa acuminata* “Berangan”, “Mas” and “Raja”) extracts. *Sains Malaysiana* 41(3): 319-324.
40. Sofowara A., 1990. Phytochemical Screening of Nigerian Medicinal Plants” parts III. *Lioyeria* 41:234-246.
41. Sumathy V., Lachumy S.J., Zakaria Z. & Sasidharan S., 2011. In vitro bioactivity and phytochemical screening of *Musa acuminata* flower. *Pharmacologyonline* 2: 118–127.
42. Tenkouano A., Vuylsteke D. & Swennen R., 2007. Sink competition and desuckering effects on field performance of triploid and tetraploid plantain genotypes. *J. of Crop Sci. Improv.* 20(12): 31-51.
43. Thaipong K., Boonprakob U., Crosby K., Cisneros-Zevallos L. & Byrne D.H., 2006. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *J. of Food Compos. and Analysis* 19: 669-675.
44. Umamaheswari A., Puratchikody A., Prabu S.L. and Jayapriya T., 2017. Phytochemical screening and antimicrobial effects of *Musa acuminata* bract. *Int. Res. J. of Pharmacy* 8(8) : 41-44.
45. Venkatesh K.V., Girish K.K., Pradeepa K. & Santosh K.S.R., 2013. Antibacterial activity of ethanol extract of *Musa paradisiaca* cv. Puttabale and *Musa acuminata* cv. Grande naine. *Asian J. of Pharm. and Clinical Res.* 6(2): 169-172.
46. Verde-Mendez C.D.M., Forster M.P., Rodríguez-Delgado M.A., Rodríguez-Rodríguez E.M. and Romer C.D., 2003. Contents of free phenolic compounds in bananas from Tenerife (Canary Island) and Ecuador. *European Food Res. and Technol.* 217: 287–290.
47. Wang H., Cao G. & Prior R.L., 1997. Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins. *J. of Agricultural and Food Chemistry* 45: 304–309.
48. Wright M.E., Park Y., Subar A.F., Freedman N.D., Albanes D., Hollenbeck A., Leitzmann M.F. and Schatzkin A., 2008. Intakes of fruits, vegetables and specific botanical groups in relation to lung cancer risk in the nih-aarp diet and health study. *American J. of Epidemiology* 168: 1024–1034.
49. Yen Y.H., Shih C.H. & Chang K., 2008. Effect of adding ascorbic acid and glucose on the antioxidative properties during storage of dried carrot. *Food Chemistry* 107: 265-272.

# Incidences Socio-Environnementales et Economiques Des Activites Agricoles Dans Le Nord-Ouest De L'Atacora Au Benin

Pocoun Damè KOMBIENOU<sup>1\*</sup>, Sabai KATE<sup>1</sup>, Rodrigue V. Cao DIOGO<sup>2</sup>, Gustave Dieudonné DAGBENONBAKIN<sup>1</sup>, Guy Apollinaire MENSAH<sup>1</sup>

## Résumé

L'étude aborde la dynamique de l'évolution des emblavures, de la production et l'incidence des activités agricoles sur les conditions de vie des populations. L'objectif global était, d'évaluer les incidences socio-environnementales et économiques des activités agricoles dans le département de l'Atacora au nord-ouest du Bénin. Les méthodes utilisées étaient les enquêtes exploratoires, les diagnostics participatifs, les sondages d'opinion et les analyses des changements sociaux. Ainsi, 400 chefs d'exploitations sélectionnés au hasard ont été interrogés dans huit villages des quatre communes du département. Les résultats ont montré que, les impacts étaient négatifs sur les sols, le rendement et les revenus annuels des populations. Les principales cultures qui ont contribué aux revenus annuels des ménages étaient le sorgho (20,26%), le coton (18,95%), le maïs (13,07%), l'igname (9,47%), le riz (7,19%), le soja (6,54%) et dans une moindre mesure le maraîchage (3,27% à 5, 88%) avec une prééminence des céréales (52%). Les impacts de la production agricole se traduisaient par la disparition du couvert végétal et la baisse de la fertilité des sols. L'utilisation des engrais chimiques et les feux de végétation ont résolu d'une manière ponctuelle certains problèmes comme l'amélioration des rendements agricoles et l'augmentation des revenus, mais ils n'ont pas duré dans le temps. Ces activités ont influencé le milieu et les conditions de vie des populations en les mettant dans un appauvrissement social très critique. L'intensification agricole basée sur l'adoption des technologies plus productives et respectueuses de l'environnement, demeure l'une des stratégies pour garantir une utilisation durable des ressources naturelles.

**Mots clés:** Atacora, activités agricoles, impacts, revenus annuels

## Abstract

The study looks at the dynamics of land used through the evolution of crops, the production and the impact of agricultural activities on people's living conditions. The overall objective was to assess the socio- environmental and economic impact of agricultural activities in the Atacora department in northwestern Benin. The methods used were exploratory surveys, participatory diagnostics, opinion polls and analyzes of social change. Thus, 400 farm managers were randomly selected in eight villages in four communes of the department for interviews. The results showed that the impacts were negative on the soils, the yield and the annual incomes of the populations. The main crops that contributed to annual household income were sorghum (20.26%), cotton (18.95%), maize (13.07%), yam (9.47%), rice (7.19%), soybeans (6.54%) and to a lesser extent market gardening (3.27% to 5.88%) with a predominance of cereals (52%). The impacts of agricultural production were reflected in the disappearance of plant cover and the decline in soil fertility. The use of chemical fertilizers and wildfires occasionally solved problems such as improving agricultural yields and increasing incomes, but they did not last over time. These activities have influenced the environment and the people's living conditions, putting them in a very critical social impoverishment. Agricultural intensification based on the adoption of more productive and environmentally friendly technologies, remains one of the strategies to ensure the sustainable use of natural resources.

**Keywords:** Atacora, agricultural activities, impacts, annual income

<sup>1\*</sup> Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB); 01BP884 Cotonou, Bénin.

<sup>2</sup> Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de

Parakou, BP 123 Parakou, Bénin.

(1\*) Auteur correspondant : [ykopoda@yahoo.fr](mailto:ykopoda@yahoo.fr)  
(229)97355649/95454959

## INTRODUCTION

Dans les pays en développement, la production agricole demeure la base nourricière de la majeure partie des populations. Elle joue un rôle stratégique dans la croissance économique et la réduction de la pauvreté et représente 38 % du produit intérieur brut (PIB) (Tossou et al., 2007). L'agriculture représente aussi un enjeu économique considérable surtout si on tient compte du fait que «60 % de la chaîne alimentaire internationale est gérée par seulement dix compagnies qui contrôlent les graines, les engrais, les pesticides, la transformation et le transport des aliments». L'agriculture est de plus en plus questionnée au niveau environnemental car, pour répondre aux besoins d'une population croissante, la production alimentaire a augmenté d'environ deux fois et demie au cours des cinquante dernières années avec comme conséquence une pression insoutenable sur les ressources naturelles (terres, eaux, forêts). La situation des petits agriculteurs et agricultrices des pays en développement est particulièrement alarmante et selon la

FAO : les petits exploitants agricoles produisent l'essentiel des denrées alimentaires dans les pays en développement. Cependant, d'une manière générale, ils sont beaucoup plus pauvres que le reste de la population et leur sécurité alimentaire est plus précaire que celle des pauvres des milieux urbains (SUCO, 2008). La question de la sécurité alimentaire est très importante dans les politiques de développement de l'Afrique. En effet, elle apparait comme un sujet majeur depuis les années 1980, lorsque l'Afrique, en tant qu'entité continentale – Organisation de l'Unité Africaine (OUA) hier et Union Africaine (UA) aujourd'hui a commencé à mettre en place des politiques-cadres pour le développement économique et social. L'une des premières politiques continentales a été le Plan d'action de Lagos pour le développement en Afrique. Ce plan a placé les questions de développement du secteur agricole et de l'autosuffisance alimentaire au cœur de ses objectifs prioritaires. Depuis lors, de nombreuses politiques agricoles et de sécurité alimentaire se sont succédées tant au niveau continental que

dans les pays. Ce faisant, l'Afrique reste toutefois en ligne avec les agendas de développement mondiaux mis en place au niveau des Nations unies et de ses agences. Ainsi, dans l'Agenda 2030 de l'ONU, l'objectif est «d'éliminer la faim et de faire en sorte que chacun, en particulier les pauvres et les personnes en situation vulnérable, y compris les nourrissons, ait accès toute l'année à une alimentation saine, nutritive et suffisante d'ici 2030» (Hours *et al.*, 2017).

Les activités agricoles permettent aux producteurs de répondre à leurs besoins pécuniaires et d'autoconsommation. Toutefois, la baisse de la fertilité des sols entraîne la chute des rendements et par conséquent celle des revenus des producteurs (Fangnon, 2012). Alors que le taux de croissance démographique s'accélère dans la région, l'agriculture qui doit nourrir les populations et assurer leur mieux être connaît une crise caractérisée par une baisse relative de sa production, une dégradation des ressources naturelles et l'environnement (Kombienou *et al.*, 2020). En outre, le développement rural mal maîtrisé, les pollutions diverses liées à l'usage incontrôlé des différents intrants agricoles, la baisse de la qualité des eaux, l'extension de l'érosion, l'appauvrissement des sols et le recul sans cesse du couvert forestier sont les manifestations les plus visibles de cette dégradation (Roufai, 2005).

Le Bénin est un pays à économie essentiellement agricole. L'agriculture participe à plus de 40 % au produit intérieur brut et représente plus de 90% des recettes d'exportation et 15% des recettes de l'Etat (ONASA, 2003 et 2006 ; Anago, 2007 ; Fangnon, 2012). Elle est constituée par environ 400.000 petites exploitations agricoles dont la superficie moyenne varie entre 0,5 et 2 hectares. De manière générale, la production agricole de ces petites exploitations croît au même rythme que la population, soit 3,5% par an (PNUD, 1997 et 2013). En particulier, l'influence prédominante de la taille du ménage pose un défi important en termes de création de richesse lorsqu'on se réfère à la croissance continue de la population. En effet, le taux d'accroissement de la population béninoise est passé de 2,8% entre 1979 et 1992, à 3,2% entre 1992 et 2002 et 3,5% entre 2002 et 2013. Cette croissance démographique devrait induire une demande sociale élevée face à une croissance économique encore faible. Ainsi, si cette évolution démographique est de nature à inhiber et étouffer les efforts de développement non encore soutenus, elle favorisera en conséquence un taux de pauvreté plus élevé (INSAE, 2013).

Malgré son relief accidenté, le Département de l'Atacora recèle des potentialités naturelles (château d'eau du Bénin) exploitables à des fins agricoles. Toutefois, la mauvaise gestion de ces ressources engendre inéluctablement la dégradation de l'environnement et la baisse de la productivité agricole (Kombienou, 2010). Cette situation entraîne à son tour des conséquences graves sur les plans social et économique, car les polluants agricoles ont plusieurs impacts sur la santé humaine, en affectant la nappe phréatique d'une part et en contaminant par bioaccumulation des cultures qui poussent sur les sols dégradés d'autre part (Gléhouéou, 2015). Les cultures telles que l'igname, le coton et les céréales sont dévastatrices de l'espace compte tenu des méthodes traditionnelles de leur production et contribuent à l'appauvrissement rapide des sols (Kombienou, 2016). La culture du coton connaît un développement spectaculaire au cours de ces dernières années. Les superficies emblavées pour ces principales cultures connaissent une augmentation avec une faible productivité

selon les données du CeRPA-Atacora/Donga (2013). Cette faible productivité n'améliore pas les conditions de vie des populations rurales. Ainsi, plus de 72 % de la population vit en dessous du seuil de pauvreté monétaire départemental, fixé à 58.000 F CFA/an (soit 89 €/an) pour satisfaire leurs besoins vitaux (PAVICO, 2002 ; Adjovi et Vickey, 2003; Tchegnon, 2006 et INSAE, 2013). Au Nord du pays, ce sont surtout les départements situés à l'ouest (Atacora et Donga) qui sont les plus affectés par l'insécurité alimentaire (Bongi *et al.*, 2009). Dans ces départements, les producteurs travaillent sur des terres fortement pentues (Amadji *et al.*, 2006). La majorité des sols ferrugineux tropicaux est lessivée et caractérisée par une faible teneur en matière organique, une texture sableuse, une structure à tendance particulaire. Les sols souffrent d'un déficit hydrique et sont exposés à l'érosion hydrique. Cette déficience grave des sols est l'une des principales causes des mauvais rendements des cultures dès que la régularité pluviométrique n'est plus assurée (Azontondé, 1991). Plus de 20% de cette population n'arrive pas à satisfaire leurs besoins alimentaires, quoique principalement agricole (plus de 75% active dans le secteur agricole). C'est pourquoi, certains jeunes optent pour la migration vers les autres régions du Bénin ou des pays de la sous-région (Bokonon-Ganta, 1995). Certaines activités telles que l'utilisation des engrais chimiques et les feux de végétation ont résolu d'une manière ponctuelle certains problèmes comme l'amélioration des rendements agricoles et l'augmentation des revenus, mais elles n'ont pas duré dans le temps (Kombienou *et al.*, 2020). L'objectif global de l'étude était, d'évaluer les incidences socio-environnementales et économiques des activités agricoles sur les conditions de vie des producteurs dans le nord-ouest de l'Atacora au Bénin. Sommairement, l'étude visait, à apprécier l'état actuel des sols, celui de la végétation et des aptitudes culturelles de ces sols dans la zone d'étude. Les résultats de cette analyse serviront de base à l'élaboration des stratégies de restauration des terres du nord-ouest de l'Atacora pour favoriser un accroissement de la production agricole.

## 1. MATE RIEL ET MÉTHODES

### 1.1 Milieu d'étude

La présente étude a été conduite dans le nord-ouest du département de l'Atacora respectivement dans les communes de Boukoubé, Natitingou, Tanguiéta et Toucountouna. Les sols dans ces communes sont caractérisés par une faible épaisseur, une texture légère, une forte érodibilité et un déficit hydrique (Azontondé, 1991). Cette zone de recherche est située dans le nord-ouest de la République du Bénin entre 9° 50' 59" et 12° 22' 10.8" de latitude Nord et entre 0° 58' 38" et 3° 13' 20.1" de longitude Est. Huit dont deux par commune, ont été retenus comme site de la présente étude. Il s'agit des villages de Koumagou A et Kounakogou dans la commune de Boukoubé, de Béricingou et Koussantikou dans la commune de Natitingou ; de Ouankou et Manougou dans la Commune de Tanguiéta et ceux de Wansokou et Tchakalakou dans la Commune de Toucountouna.

Cette aire d'une superficie d'environ 15076 km<sup>2</sup>, abrite une population estimée en 2013 à 480.835 habitants (INSAE, 2013).

Les sols de la commune de Boukoubé sont particulièrement plus vulnérables à l'érosion (Faure, 1977). Elle est l'une des communes les plus pauvres avec près de 85% de la population dépensant moins d'un dollar par jour (INSAE, 2009).

La végétation du nord-ouest du Bénin constituée essentiellement de savanes et de mosaïques de champs et jachères connaît une dégradation avancée. Elle subit une régression continue, résultant des actions qu'elle connaît, notamment le défrichement, les incendies dus aux pratiques des feux de végétation tardifs, le surpâturage et l'augmentation des superficies cultivables. Les pentes et le vent facilitent la propagation du feu, surtout pendant la saison sèche de novembre à mai (Tenté, 2005).

L'activité économique dominante dans le milieu d'étude est basée sur l'agriculture qui occupe près de 80 % de la population. Au niveau des six Communes du secteur d'étude (Natingou, Boukombé, Cobly, Matéri, Tanguiéta et Toucountouna), la production agricole représente presque l'unique source de ressources alimentaires et financières pour la population. Ces Communes se trouvent dans la zone où les écosystèmes sont les moins capables de supporter les populations qui y vivent. Plus de 72% de la population vit en dessous du seuil de pauvreté monétaire départemental, fixé à 58.000 F CFA/an (soit 89 €/an) pour satisfaire leurs besoins vitaux (PAVICO, 2002 ; Adjovi et Vicky, 2003 ; Tchegnon, 2006 et INSAE, 2013). Plus de 20% de cette population n'arrive pas à satisfaire leurs besoins alimentaires, quoique principalement agricole (plus de 75% active dans le secteur agricole). La croissance démographique conduit à une forte demande de terres cultivables. Cette demande entraîne la réduction de la durée de jachère, diminue la fertilité des sols. Les cultures de rente prennent de l'ampleur, ceci dans l'optique d'augmenter le pouvoir économique. Parmi ces cultures de rente, on peut citer, prioritairement le coton. La chasse et la pêche sont également développées par les communes riveraines du Parc national de la Pendjari. Ces activités contribuent à satisfaire les besoins quotidiens et vitaux des populations (Ouorou Barré, 2014) (figure1).

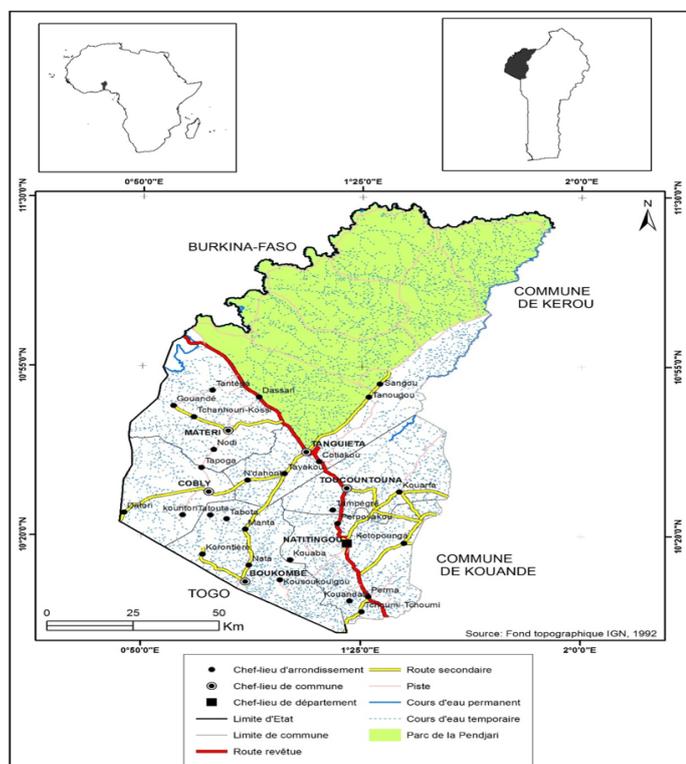


Figure 1: Localisation de la zone d'étude

## 1.2 Cadre théorique du travail

Les activités agricoles constituent l'une des composantes importantes de l'économie rurale dans les pays en

développement. Ces activités ont à la fois des incidences économiques, sociales et environnementales. Les incidences économiques tournent autour des revenus des populations. Les incidences sociales sont relatives à l'amélioration des conditions et du cadre de vie des populations. Les incidences environnementales peuvent être analysées à plusieurs niveaux.

La première incidence environnementale des activités agricoles est la dégradation du couvert végétal. La dégradation du couvert végétal entraîne automatiquement la disparition de la faune, car la végétation est le milieu-cadre et le milieu-ressource de la faune. Avec la dégradation du couvert végétal, il s'ensuit l'appauvrissement des sols qui aura à son tour des incidences sur la productivité agricole et par ricochet sur les revenus et les conditions de vie des populations rurales. Il s'agit, somme toute, d'un cycle de rétroactions.

Les schémas linéaires d'analyse causale tels que force motrice – pression – état – impact – réponse, qui dominent encore de nombreuses recherches sont souvent impuissants pour rendre compte de la complexité des relations entre les composantes de développement notamment l'économie, le social et l'environnement. Hormis les activités économiques ayant des incidences directes sur le social et sur l'environnement, les facteurs institutionnels sont aussi à prendre en compte. C'est pourquoi, une analyse systémique a été adoptée au cours de cette recherche avec les acteurs de l'agriculture.

Sodhi *et al.* (2009), en faisant une synthèse de l'impact des activités anthropiques sur l'environnement sur la base de 150 articles scientifiques ont conclu que l'agriculture est la première activité qui, au-delà de la dégradation de la végétation et du sol perturbe tout l'équilibre écologique. Le fil conducteur de la présente recherche a tourné au tour de la caractérisation des activités agricoles, les incidences économiques, sociales et environnementales.

Les implications des résultats de cette recherche pourraient amener à un changement de paradigme du développement rural qui sera désormais orienté vers un véritable développement local durable. Il sera question de mener les activités agricoles qui assurent la satisfaction des besoins socio-économiques des générations actuelles sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs tout en respectant les normes environnementales.

### 1.3 Outils de collecte des données

La phase préparatoire a consisté à recueillir à l'aide d'un GPS (Global Positioning System) les coordonnées géographiques des points qui constituent les limites territoriales de la zone d'étude. La constitution de l'échantillon a nécessité la mobilisation des approches d'évaluation d'impact. L'évaluation de l'incidence de ces technologies exogènes peut se faire à l'aide des approches expérimentales (aléatoires) (Da, 2008).

Les outils de collecte des données par ordre chronologique d'utilisation ci-après ont été retenus:

- ✓ un carnet de note, des porte-fiches, un crayon, un stylo à bille
- ✓ un appareil photo pour d'éventuelles illustrations;
- ✓ un récepteur GPS (Global Positioning System) Garmin pour relever les coordonnées géographiques des villages;
- ✓ un questionnaire pour faire des enquêtes auprès des producteurs et autres acteurs intervenant dans le secteur

agricole des Communes d'études ;

- ✓ un guide d'entretien pour conduire les focus group ;
- ✓ une grille d'observation pour faire des observations directes sur le terrain.

#### 1.4 Techniques de collecte des données

Les techniques utilisées ont été les suivantes:

- ✓ le diagnostic participatif au niveau de chaque village;
- ✓ les sondages d'opinions par tranches d'âges variant de 20-70 ans et supérieur à 70 ans, en raison de ce que les adultes et les personnes âgées ont une certaine expérience et auraient vu ou connu les transformations de leur milieu quand bien même dans la zone, déjà à 10 ans, le jeune est capable de travailler au champ ;
- ✓ les entretiens informels et semi-structurés ayant pour base N=400 agriculteurs (chefs d'exploitations) avec ni=50 agriculteurs par village (taille de l'échantillon dans l'ensemble des villages d'étude est 400). Les unités de recherche sont les exploitations bénéficiaires de l'étude (les répondants). Elles ont été choisies de façon aléatoire. Au total, 400 producteurs ont été enquêtés de façon aléatoire à raison de 50 par village. Pour évaluer les principales stratégies de conservation des sols, les analyses se sont focalisées sur les principales cultures (sorgho, coton, maïs, igname, riz et le soja) puisqu'elles sont même au Nord, les principales cultures vivrières et de rente.

Les informations collectées portent sur les activités agricoles, les valeurs socio-économiques des spéculations agricoles, les perceptions paysannes sur des situations données (naturelles et culturelles) auprès de différents groupes socio- professionnels concernés à savoir sur les causes culturelles et naturelles de la dégradation des sols, leurs manifestations, les superficies cultivées en général et celle occupée par chaque culture en particulier, les stratégies de conservation des sols utilisées, leur origine et objectifs selon les producteurs, la production des principales cultures obtenues, les différents coûts variables liés à la production de ces cultures et à l'utilisation de chaque type de stratégies et le prix de vente.

Seize focus groups à raison de deux par village ont été organisés au cours de la phase exploratoire dans chaque commune pour recenser les principales perceptions sur les causes de dégradation des sols et les différentes stratégies utilisées pour les conserver. Les observations des participants ont permis d'identifier les causes de dégradation des sols et leur manifestation.

Au total, les trois types d'entretiens suivants ont été conduits.

#### ❖ Entretiens informels

Non structurés, ouverts, accordant une marge de manœuvre à l'enquête, ce type d'entretien a été surtout privilégié lors des enquêtes sur l'historique de l'occupation des terres sur la chaîne, les données sur les groupes socioculturels et sur les relations qu'ils entretiennent, la description des pratiques et des processus, le recoupement des informations, la typologie selon le niveau de prospérité, etc. Les entretiens informels non structurés ont permis de recueillir la superficie allouée à chaque culture, les différents coûts variables liés à la production de chacune et à l'utilisation de chaque type de stratégies et les

revenus issus de la production de chaque culture. Ils ont été réalisés avec différents acteurs et représentants de groupes socioculturels rencontrés sur le terrain tels que les personnes ressources, les producteurs, les ONG, les chefs traditionnels, les décideurs politiques locaux, etc. Les prises de notes ou des enregistrements audio ont été faits au fur et à mesure des entretiens.

#### ❖ Entretiens semi-structurés

Les entretiens semi-structurels ont été réalisés avec un guide d'entretien conduit auprès de 400 exploitants agricoles. Les questions posées étaient à la fois ouvertes et fermées et concernaient surtout le niveau de diversité, les systèmes de culture, l'historique d'occupation des terres, la fréquence des paramètres, les déterminants socio-économiques.

#### ❖ Entretiens de groupes

Plusieurs entretiens ont été conduits avec des petits groupes dans le village dont le nombre variait entre 10 et 15 personnes, afin de comprendre, au niveau local, les stratégies locales de gestion, de conservation des sols et de l'utilisation des terroirs.

### 1.5 Analyse et évaluation des impacts

La matrice de Léopold *et al.* (1971), le cadre de référence de l'Agence Béninoise pour l'Environnement (1999) et le cadre de référence pour l'évaluation de l'importance des impacts (Thibault, 2005), avaient servi à l'évaluation des impacts des activités agricoles sur les écosystèmes et les conditions de vie des populations rurales. La Matrice de Léopold *et al.* (1971) avait permis de croiser les sources d'impacts (sous activités de l'agriculture) avec les composantes du milieu pour faire ressortir les composantes du milieu affectées par les activités agricoles. L'impact des sous activités de l'agriculture a été décrit par rapport à la nature, la durée, la portée (étendue) et l'intensité sur chaque composante du milieu affecté.

L'analyse et l'évaluation de l'importance des impacts reposent sur une approche méthodologique qui intègre les trois paramètres de l'impact à savoir la durée (courte, moyenne ou longue), l'étendue (ponctuelle, locale ou régionale) et l'intensité (faible, moyenne ou forte). Le croisement de ces paramètres conformément au cadre de référence pour l'évaluation de l'importance des impacts (Thibault, 2005) a permis de déduire l'importance de l'impact qui peut être de trois ordres : fort, moyen ou faible.

Concernant l'impact économique des activités agricoles sur les écosystèmes et les conditions de vie des populations rurales, les valeurs économiques des différentes composantes affectées ont été évaluées.

L'évaluation des impacts s'est reposée sur l'approche méthodologique de l'Agence Béninoise pour l'Environnement (ABE) dont la synthèse a été mentionnée dans le tableau I.

### 1.6 Analyse des changements sociaux

L'analyse des changements sociaux, avait permis de distinguer les changements qui représentaient des processus et des événements sociaux qui étaient des phénomènes ponctuels. Il n'avait pas été question d'analyser tout ce qui est apparu comme nouveau dans l'agriculture du nord-ouest de l'Atacora. Il a été plus mis l'accent sur les processus pertinents ayant eu un impact sur la communauté rurale de la zone d'étude. Des cas où, les causes lointaines de ces changements persistaient,

**Tableau I:** Matrice d'évaluation des impacts liés à l'exploitation agricole sur le milieu biologique et les producteurs

Sources d'impacts	Composantes du milieu affectées			Degré de perturbation			Importance
Activités	Impacts	Nature	Durées	Etendue			
Défrichement/Feux de végétation et chasse à la battue	Couvert végétal et rochers	Destruction du couvert végétal	Négative	Temporaire	Locale	Moyen	Moyenne
	Flore et	Risque de disparition des animaux ayant pour abris les végétaux détruits	Négative	Temporaire	Locale	Moyen	Moyenne
	Faune						
	Acteurs de l'exploitation agricole et habitants	Augmentation des revenus	Positive	Temporaire	Locale	Moyen	Moyenne
Utilisation des engrais chimiques		Amélioration des rendements	Positive	Temporaire	Locale	Moyen	Moyenne
	Acteurs de l'exploitation agricole	Augmentation précaire des revenus	Positive/Négative	Permanente	Locale	Moyen	Moyenne
Fabrication de charbon	Fabricants et populations environnantes	Risque de pollution de l'environnement	Négative	Temporaire	Régionale	Moyen	Moyenne

elles ont été rappelées et analysées. Le repère des années 90 s'expliquait par le fait qu'elles ont été déterminantes pour le pays (ajustement structurel, dévaluation du FCFA) comme sur le plan international (sommet de Rio, globalisation du discours communautaire et participatif). La durabilité des transformations structurelles induites a été prise en compte, ce qui poussait à ne parler de changement social qu'après avoir prouvé la durabilité des modifications étudiées. Etant entendu que le changement social est un phénomène collectif, il a été cherché à vérifier s'il touchait toute la communauté étudiée au groupe socioculturel, une organisation, un village, une institution locale donnée ou des individus pris dans leur ensemble.

A cet égard, les facteurs de changement qui ont été considérés sont les valeurs culturelles ou économiques, les progrès techniques (promotion du coton), les conflits et contradictions entre les acteurs et la démographie (accroissement de la population, migration interrégionale et interne, etc.). Pour le dernier cas de facteurs, il a été utilisé les informations statistiques des recensements généraux de la population et de l'habitation de 1992, 2002 et 2013 complétées par des enquêtes sur le terrain.

De ces données, il était décrit les mouvements de la population (natalité, mortalité, migration), la structure de la population à travers les pyramides des âges et fait des projections de population et son impact éventuel sur l'environnement.

La préoccupation d'envisager l'agriculture du nord-ouest de l'Atacora au cours d'une période plus ou moins longue (20 ans), en vue de montrer les changements survenus, aussi a conduit à adopter une approche historique tant pour l'étude des relations passées et actuelles entre les groupes étudiés (adolescents (15 à 25 ans), adultes (25 à 50 ans) et vieux (50 et plus) constituant respectivement 60,20 % ; 26,50 % et 13,30 % des actifs agricoles) que pour celle des connaissances en matières de conservation.

### 1.7 Diagnostic

Sur le terrain, le diagnostic s'était déroulé en deux phases: une première phase qui a consisté à explorer et réaliser la typologie des exploitations agricoles en ce qui concerne la gestion de la fertilité des sols et une seconde phase d'enquêtes

complémentaires sur les caractéristiques des exploitations types selon les classes de gestion de la fertilité des sols. Ces phases ont été exécutées entre 2018 et 2020.

La typologie des exploitations a été réalisée lors des réunions villageoises au cours desquelles des « focus group » ont été effectués au cours des études précédentes (Kombienou *et al.*, 2019) :

- ✓ la hiérarchisation des pratiques et facteurs déterminants de la gestion de la fertilité des sols au niveau des exploitations dans les villages;
- ✓ la typologie des exploitations agricoles en trois (03) classes : adolescents (15 à 25 ans), adultes (25 à 50 ans) et personnes âgées (50 et plus) constituant respectivement 60,20 % ; 26,50 % et 13,30 % des actifs agricoles, selon des critères basés sur les pratiques et facteurs déterminants.

Cette phase du diagnostic a été réalisée sur un échantillon de 400 exploitations agricoles (soit 5% des villages et des ménages ruraux) réparties dans huit (08) villages de la zone d'étude.

Les enquêtes complémentaires ont été effectuées auprès d'exploitants représentatifs des trois (03) classes. Cette phase a permis de recueillir des informations quantitatives sur les cultures, l'élevage, les pratiques de conservation et de restauration des sols y compris les flux monétaires. D'autres séances de travail avec les structures d'encadrement et d'organisation des producteurs avaient contribué à la compréhension de leur structuration et au diagnostic des modes de gestion de ces structures. Ces différentes phases de collecte des données ont été complétées par des entretiens informels, semi-structurés et structurés avec les personnes ressources de diverses catégories (déscolarisés, retraités, élus locaux, chefs traditionnels, agriculteurs et personnels d'encadrement).

## 2. RÉSULTATS

### 2.1 Perceptions paysannes des causes de dégradation des sols

Les facteurs naturels comme les pluies et le relief, puis les facteurs anthropiques tels que les pratiques pastorales et

culturelles, les modes de gestion des ressources naturelles et les feux de végétation tardifs ont été les deux types de perceptions paysannes de la dégradation des sols évoqués au cours des enquêtes (Tableau II). La forte pente des sols était le facteur le plus déterminant de la dégradation des sols selon près de la moitié des producteurs enquêtés dans les communes de Boukombé et Natitingou alors que dans les communes de Tanguiéta et Toucountouna, la coupe d'arbres était le facteur responsable selon environ 60% des producteurs enquêtés (Tableau II). Pour expliquer la dégradation des sols par les producteurs, dans les communes de Boukombé et Natitingou des raisons naturelles ont été évoquées alors que dans celles de Tanguiéta et Toucountouna, ce sont des raisons anthropiques qui ont été avancées.

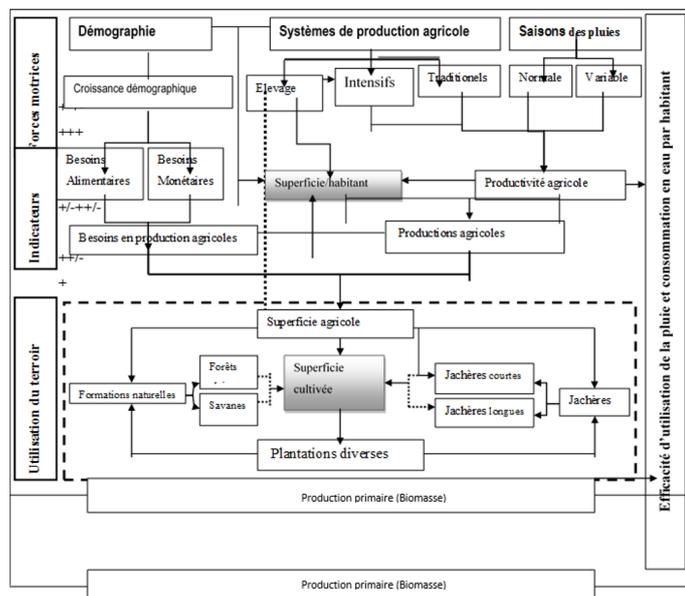
**Tableau II** : Perception des producteurs sur les facteurs de dégradation des sols (%)

Perceptions paysannes	Facteurs de dégradations	Moyenne de fréquence par couple de commune %	
		Boukombé/Natitingou	Tanguiéta/Toucountouna
Facteurs naturels	Fortes pentes	52	25
	Fortes pluies	18	22
Facteurs anthropiques	Pratiques forestières	35	20
	Coupe d'arbres	50	40
	Pratiques de feux de végétation tardifs	40	55
	Absence de jachère	60	45
	Pratiques culturelles	30	40
	Surpâturage	30	20

Source : Enquête de terrain 2019

## 2.2. Incidences socio-environnementales des activités agricoles au nord-ouest de l'Atacora

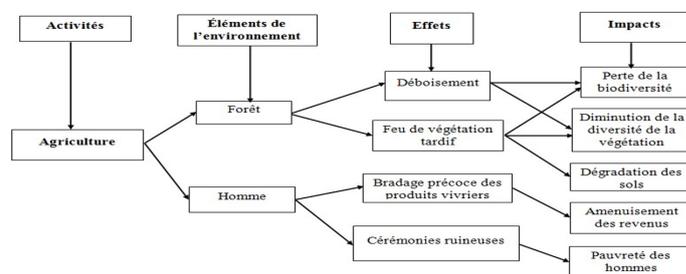
La figure 2 a synthétisé l'impact de la croissance démographique, des systèmes de production agricoles et de la variabilité saisonnière des pluies sur l'utilisation du terroir. L'analyse de la figure 2 a révélé que, la croissance démographique, les systèmes de production agricoles et la variabilité saisonnière des pluies ont conduit à une diminution de la superficie par habitant. Toutefois, l'augmentation de la superficie totale cultivée dans le milieu suite à l'accroissement de la population a eu pour conséquence, la destruction des plantations diverses avec une réduction de la biomasse, donc de la production primaire.



**Figure 2** : Modèle d'impact de la croissance démographique, des systèmes de production agricoles et de la variabilité saisonnière des pluies sur l'utilisation du terroir

Source: Travaux de Kombienou et al., 2019

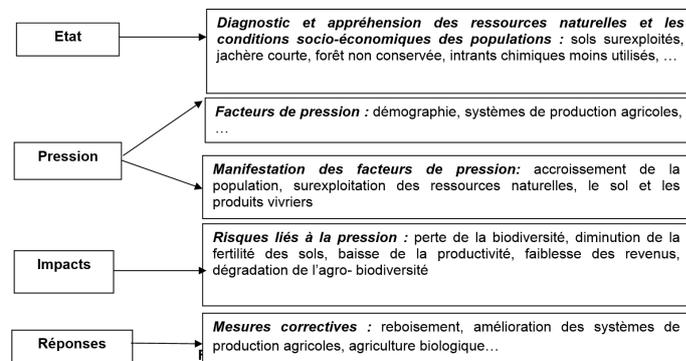
L'analyse de la Figure 3 a montré que, la nature des impacts négatifs a prédominé ceux positifs. Certaines activités telles que l'utilisation des engrais chimiques et les feux de végétation ont résolu d'une manière ponctuelle certains problèmes comme l'amélioration des rendements agricoles et l'augmentation des revenus, mais elles n'ont pas duré dans le temps. Au fil des années, ces activités ont impacté négativement le milieu et les conditions de vie des populations. Il était important de trouver des alternatives sûres, car les impacts négatifs semblaient devenir permanents dans le secteur d'étude. Différentes interactions ont prévalu actuellement entre les principales activités, les éléments, les effets et les impacts environnementaux des systèmes de productions agricoles dans le nord-ouest de l'Atacora (figure 3). Ainsi, le déboisement et les feux de végétation tardifs ont entraîné la perte de la biodiversité, la diminution de la diversité de la végétation et la dégradation des sols. De même le bradage précoce des produits vivriers par les hommes a entraîné l'amenuisement de leurs revenus en mettant dans un état de pauvreté.



**Figure 3**: Interactions entre activités, éléments, effets et impacts environnementaux

Source: Enquêtes de terrain, 2018-2019

Les impacts de la production agricole se traduisaient surtout entre autres, par la disparition du couvert végétal, la baisse de la fertilité des sols et la pollution de certains cours d'eau aux bords desquels se réalisaient des activités à dominance agricole. De façon pratique, il a été identifié d'abord l'état (situation de base existant avant l'intervention des facteurs de pressions) ensuite les pressions (forces agissantes et ayant induit des changements dans un état habituel), les impacts (dommages et risques dus aux changements intervenus) et leurs réponses (mesures correctrices pour atténuer les impacts négatifs et maximiser ceux positifs) (Figure 4).



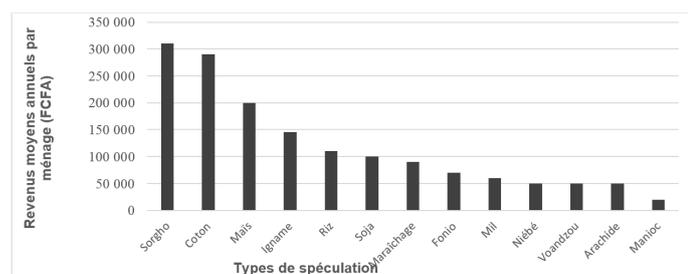
**Figure 4** : Analyse des résultats à l'aide du PEIR

Source: Travaux de Kombienou et al., 2019

### 2.3. Incidences socio-économiques des activités agricoles au nord-ouest de l'Atacora

La principale activité économique des ménages du nord-ouest de l'Atacora était la production végétale. L'agriculture occupait la grande partie de la population et se pratiquait de diverses manières dont les impacts étaient négatifs sur les sols et par ricochet sur le rendement et la marge bénéficiaire des populations. La figure 5 présente la contribution des spéculations produites au nord-ouest de l'Atacora aux revenus des ménages.

Les principales cultures qui contribuaient aux revenus annuels des ménages au nord-ouest de l'Atacora étaient le sorgho (20,26%), le coton (18,95%), le maïs (13,07%), l'igname (9,47%), le riz (7,19%) et le soja (6,54%). Le maraîchage, le fonio, le mil, le niébé, le voandzou et l'arachide contribuent entre 3,27% et 5,88%. Enfin, le manioc était le moins contributeur aux revenus des ménages (figure 5). La variation spatiale des revenus issus des spéculations produites au nord-ouest de l'Atacora a montré une disparité entre les régions. Ainsi, les agriculteurs qui étaient installés autour de la Réserve de Biosphère de la Pendjari (RBP) sur des sols fertiles, avaient des revenus atteignant le double voire le triple de ceux qui étaient installés sur les flancs de montagne. Par ailleurs, la variation interannuelle des revenus au cours des dernières décennies n'était pas linéaire. Cette variation des revenus était fonction de certains facteurs endogènes (les nids d'abeille, les billons perpendiculaires à la pente, les billons cloisonnés, les cordons pierreux et les billons en courbe de niveau.), exogènes (utilisation d'engrais minéraux, banquettes, ados, billonnage suivant les courbes de niveaux.) et intrinsèques (compétences individuelles, innovations personnelles...) des producteurs. Ainsi, la variation des revenus était fonction du rendement qui à son tour était tributaire de la bonne répartition des pluies, de la fertilité des sols et de l'application des paquets techniques proposées par la recherche et les services de vulgarisation. Ces incidences ont mis au cours de certaines années culturelles les agriculteurs dans un appauvrissement social très critique.



**Figure 5:** Contribution des spéculations produites aux revenus des ménages

Source : Enquêtes de terrain, 2019

### 3. DISCUSSION

Les pratiques des producteurs enquêtés en ce qui concerne l'exécution des activités agricoles et des techniques mises en œuvre montrent à suffisance que tout concourt à la satisfaction des besoins alimentaires. Cependant, de nombreuses pratiques viennent aggraver l'impact sur l'environnement. En revanche, la dégradation des ressources naturelles (sols, végétation) est en grande partie la conséquence du système agricole (Kombienou, 2016). L'agriculture itinérante sur brûlis liée surtout à la culture de l'igname constitue la cause essentielle des défrichements sur de vastes étendues. En plus, le non-respect des doses d'engrais chimiques ou la non utilisation de fertilisants conduit à un

appauvrissement prolongé des terres à cause des manques d'éléments nutritifs (Boli *et al.*, 1993; Azontondé, 2000 ; Mulder, 2000; Akissoé *et al.*, 2001 et Kombienou *et al.*, 2015). De même, l'exploitation prolongée des mêmes terres entraîne une dégradation poussée des sols. Les pratiques culturales inappropriées dégradent les sols et les systèmes de culture sans amendement réduisent considérablement les teneurs en matière organique et de l'azote (Azontondé *et al.*, 1998 et Koundé, 1998). Ce qui empêche la régénération des arbres et arbustes, appauvrit le stock de matières organiques du sol et favorise l'érosion. De même, l'exploitation des flancs des montagnes en déterrants certaines pierres fait exposer le sol à l'érosion hydrique et éolienne. Les sols sont graveleux et rocailleux. L'eau y ruisselle et érode les sols encore cultivables qui se réduisent peu à peu. Il faut noter que les feux de végétation appauvrissent les sols en humus comme l'a prouvé une étude réalisée au Kenya pendant dix ans sur plusieurs parcelles (Ramade, 1991). La première parcelle protégée a enregistré un taux d'accroissement de matière humique, contrairement aux autres parcelles, annuellement parcourues par les feux. La conséquence, le sol est mis à nu et exposé à l'action destructrice des gouttes de pluie et des eaux de ruissellement. Les sols sont privés d'une grande partie de la végétation pouvant leur fournir de la matière organique suite à leur décomposition.

Selon Arouna (2005 et 2012) et Kombienou *et al.* (2016), la pratique des défrichements culturels dénude le sol et le prive durant une période de l'année de son couvert végétal protecteur. Le sol mis à nu est décapé par les gouttelettes de pluies qui dissocient les particules de sols en les entraînant par l'eau qui les dévale (Djaouga, 2003). Les fortes pressions sur les terres par la réduction de la période de jachères dégradent davantage les sols qui sont soumis à l'érosion et à l'appauvrissement. Dans le même ordre d'idées, Démon (1991) affirme que la perte de la couverture végétale et l'appauvrissement des sols relèvent des activités humaines. Les techniques et les modes d'exploitations utilisées pour mener les activités au nord-ouest de l'Atacora ne tiennent donc pas compte de la préservation de l'environnement. Du fait des pratiques agricoles et de la pression démographique, le sol, principal support de cette agriculture connaît des dégradations qui affectent sa fertilité (Natta, 1999). Pour rechercher d'autres terres fertiles, les producteurs notamment les jeunes vont dans d'autres départements du pays ou dans les pays voisins. C'est ce que Bokonon Ganta (1995) a constaté chez les communautés rurales lokpa de Ouaké, qui, en quête de terres fertiles, ont été amenées à se disperser dans plusieurs directions. Ce sont généralement les jeunes de 15 à 30 ans qui partent pour la colonisation pionnière. Dans ce contexte de dégradation du potentiel productif des sols vient s'ajouter celle de la variabilité climatique qui a des conséquences négatives sur la production agricole (Ouorou Baré, 2014). Avec une population mondiale qui devrait atteindre 9 milliards d'ici 2050, le sol est devenu une ressource fondamentale à protéger de toute urgence (FAO, 2003 ; ISRIC, 2007). En somme, la dégradation des sols est préoccupante, les érosions éoliennes et pluviales éliminent la mince couche d'humus. Elles déchaussent les arbustes et les arbres qui n'ont pas de profondes racines (Kombienou *et al.*, 2020). La plupart de ces sols ont besoin aujourd'hui d'être protégés contre l'érosion par des plantations d'arbres et la mise en place de petits ouvrages antiérosifs. Ces sols ont aussi besoin d'importants apports en matières organiques pour la reconstruction de la couche humifère sur les parcelles mises en culture (Zinzindohoué, 2012). Les problèmes liés à l'exploitation de ces sols, leur

surexploitation (due aux associations complexes des cultures, au manque et à l'insuffisance des jachères, à la pression démographique), l'érosion et la baisse de fertilité nécessitent l'adoption de pratiques culturales performantes et adaptées pour la promotion de l'agriculture. Ce qui amène les chercheurs à proposer des solutions dans le cadre de l'amélioration du taux de la matière organique par une jachère de *Mucuna* qui améliore de 4 à 5 fois la productivité que l'engrais chimique (Honlonkou, 1999). De même, l'enlèvement de la matière organique que constitue le départ de la couche fertile entraîne une diminution de la capacité de rétention des eaux de pluie et une augmentation du ruissellement. Dans les conditions pluviométriques actuelles, il faut, pour optimiser la production agricole, favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol et sa rétention maximale grâce aux apports de matières organiques tels que : le fumier, le compost et l'engrais vert (Adewi, 2012).

Du point de vue économique, les populations des Communes du nord-ouest de l'Atacora exercent plusieurs activités économiques dont les principales demeurent l'agriculture, l'élevage, le commerce et les petites transformations. Les principales cultures qui contribuent aux revenus des ménages au nord-ouest de l'Atacora sont par ordre d'importance: le sorgho, le coton, le maïs, l'igname, le riz et le soja (Kombienou, 2016). Le même constat est fait autour de la Réserve de Biosphère de la Pendjari (RBP) par Sabi Lolo Ilou (2015). Toutefois, les résultats obtenus par cet auteur en ce qui concerne les revenus sont le double voire le triple de ceux obtenus dans la présente étude. Cette différence peut s'expliquer par le fait que les agriculteurs installés dans la Zone d'Occupation Contrôlée (ZOC) de la Réserve de Biosphère de la Pendjari (RBP) bénéficient des arrières-effets de cette réserve en termes de fertilité des sols, de micro-climat, etc. Par contre, ceux installés sur les flancs des collines qui sont d'ailleurs les plus nombreux, sont soumis aux conditions topo-édaphiques très difficiles (forte pente, faible épaisseur des sols, sols rocailloux) et font des emblavures sur de petites superficies. Dans l'étude, des disparités spatiales sont observées entre les localités en ce qui concerne les revenus issus des spéculations produites. Les causes de ces disparités sont énumérées *supra*.

Les différentes spéculations cultivées subissent des influences liées aux différentes phases phénologiques qui affectent la productivité agricole; ce qui est confirmée par les travaux de Houndénou et Hernandez (1998), qui ont fait les mêmes constats dans la zone d'étude. Cette variation des hauteurs pluviométriques aux phases phénologiques est observée au Togo et surtout au Nord (Adewi, 2012). Ces incidences mettent au cours de certaines années culturelles les agriculteurs dans un appauvrissement social très critique. Ce déséquilibre du tissu social est également observé sur les agriculteurs du plateau de Babembé au Congo (Mankessi, 2013).

L'alimentation dans le milieu est plus basée sur les céréales (sorgho, petit mil, riz, maïs et fonio), les tubercules (ignames et taro) et les légumineuses (niébé et voandzou) qui constituent les spéculations agricoles les plus courantes et les plus anciennement cultivées dans la région (Kombienou, 2010). En effet, les cultures traditionnelles sont celles du fonio, du sorgho et du mil. La prééminence de ces cultures est liée aux habitudes alimentaires et socioculturelles dans le milieu. Les céréales sont non seulement la base de l'alimentation des Bètammaribè et Waaba (groupes socioculturels majoritaires) mais aussi sont utilisées dans toutes les cérémonies coutumières.

Le maïs est l'une des denrées agricoles suivies par l'Office National de la Sécurité Alimentaire (ONASA, 2006) et le Réseau des Systèmes d'Information de Marchés de l'Afrique de l'Ouest (RESIMAO) dont les objectifs sont entre autres, de contribuer à la sécurité alimentaire et à la réduction de la pauvreté. D'après les statistiques de ces institutions, le prix du maïs fluctue entre 100 et 150 F CFA/kg avec les prix les plus élevés en avril et juin qui correspondent à la période de pré-soudure où il est observé de façon régulière des pénuries alimentaires dans les ménages. Il se positionne dans les gammes des prix les plus élevées, contribuant énormément au revenu annuel des ménages ruraux, après le sorgho et le coton (Wartena, 1997 ; Adégbidi et *al.*, 2003 et Anago, 2007). La production du maïs, du nord-ouest de l'Atacora dispose donc d'un potentiel marché d'écoulement au niveau national comme dans certains pays de la sous-région, notamment le Burkina-Faso, le Mali, le Niger, le Nigéria et le Togo.

Le coton est la principale culture de rente au nord-ouest de l'Atacora. Son influence sur les producteurs s'explique par les recettes qu'il leur procure pour résoudre de nombreux problèmes, dont l'obtention de l'engrais à crédit profitant aux autres cultures. Le coton est un facteur de modernisation agricole en termes de mobilisation des revenus (Tefft et *al.*, 1998; Ater et Hmimsa, 2006 et Hauchart, 2006). Ces revenus permettent l'acquisition du matériel roulant, des matériaux de construction et de préparer facilement la dot et le mariage des futures épouses ou de celles des enfants de sexe masculin en âge de se mettre en couple selon la coutume pour certains cas (Kombienou, 2010). Toutefois, au milieu des années 1980, la filière coton a connu des difficultés de divers ordres. La baisse de revenus des producteurs est l'un des facteurs qui influent négativement sur le développement de l'agriculture et par conséquent sur le bien-être des producteurs.

## CONCLUSION

L'association, sorgho-mil est une pratique courante chez les Bètammaribè et les Waaba qui pratiquent en plus l'association céréales-niébé. Pourtant, l'association de certaines cultures présente des inconvénients, c'est le cas par exemple de l'association céréales-céréales et tubercules-céréales qui augmentent la compétitivité entre les plantes de même famille, surtout sur des sols déjà très pauvres. Ces différentes plantes sont non seulement consommatrices de l'espace mais contribuent à l'appauvrissement et à la dégradation des sols. Les pratiques culturales inappropriées dégradent les sols et les systèmes de culture sans amendement réduisent considérablement les teneurs en matière organique et de l'azote. Le sorgho, le coton, le maïs, l'igname, le riz et le soja sont les différentes cultures qui contribuent plus aux revenus des ménages au nord-ouest de l'Atacora. Aussi, la forte dépendance des populations des ressources agricoles pour leur subsistance, qui, aggravée par les retombées des tendances et facteurs démographiques, une faible base technologique et des pratiques non durables de production, concourent-elles à l'ampleur de la dégradation des ressources. Cependant, les revenus issus des activités agricoles restent encore insuffisants pour couvrir les besoins essentiels.

Il s'avère donc nécessaire de changer de paradigme en trouvant des alternatives pour la fertilisation des sols et limiter l'utilisation des intrants chimiques pour faire accroître de façon durable les revenus des producteurs et protéger l'environnement. Ce qui va encourager les jeunes à rester sur place pour travailler et créer

de la richesse locale.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions tous les acteurs à la base pour leur appui matériel dans la réalisation de l'étude. Nos remerciements vont aussi aux agents techniques d'encadrement des producteurs, aux techniciens de recherche pour leur collaboration technique dans l'exécution de l'étude et aux producteurs agricoles de chaque localité qui ont accepté se prêter à nos différentes questions pour la collecte des données agronomiques sur leurs parcelles.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABE, 1999. Loi-cadre sur l'environnement en République du Bénin. Loi N°98-030 du 12

Février 1999, portant Loi-cadre sur l'environnement en République du Bénin, ABE/MEHU, République du Bénin, Cotonou, 64 p.

Adégbidi A., Dèdèhouanou H., Kpenavoun S., Lutz C., 2003. Dix ans de libéralisation du marché de maïs au Bénin. CDS Research Report No. 20. 107 p.

Adewi E., 2012. Les stratégies agricoles de gestion de la péjoration pluviométrique au Togo. Thèse de Doctorat unique de géographie, UL, Lomé, 320 p.

Adjovi N., Vikey E. K., 2003. Pauvreté et genre dans l'Atacora. In : Atelier de partage et de réflexion sur les interactions entre les acteurs et les partenaires au développement dans l'Atacora. Cellule d'Analyse de Politique Economique : Natitingou, Benin, 25 p.

Akissoé N., Hounhouigan D.J., Bricas N., Vernier P., Nago M.C., Olorunda O.A., 2001. Physical, chemical and sensory evaluation of dried yam (*Dioscorea rotundata*) tubers, flour and amala, a flour derived product. *Tropical science*, 41 (3) 151-155

Amadji, F., Adjé, I. T., 2006: Suivi-Appui-Conseil technique aux agriculteurs des Communes de Bassila, Djougou, Péhunco, Ouaké, Copargo, Tanguiéta et Boukombé encadrés par le ProCGRN en matière de restauration de la fertilité des sols à base de légumineuses herbacées et arbustives. Rapport de mission ; Programme de Conservation et de Gestion des Ressources Naturelles, 20 p.

Anago C., 2005 a. Rapport de diagnostics participatifs centré sur la gestion de la fertilité des sols dans 5 villages de la commune de Toucountouna, IDP- Toucountouna. 67 p.

Anago C., 2007. Promotion de la Filière Maïs dans la Commune de Toucountouna (Nord-Ouest du Bénin) : Enjeux et défis pour la gestion durable de la fertilité des sols. Mémoire de Diplôme d'Etudes Spécialisées (D.E.S.), Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Université de Liège, Belgique. 108 p.

Arouna O., 2005. Carte phytoécologique de la forêt classée de Wari-Marou au Bénin. Mémoire de DEA/GEN/EDP/FLASH/UAC, Bénin, 99 p.

Arouna O., 2012. Cartographie et modélisation prédictive des changements spatio-temporels de la végétation dans la Commune de Djidja au Bénin : implications pour l'aménagement du territoire. Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 246 p.

Ater M., Hmimsa Y., 2006. Importance des agro-systèmes traditionnels de montagne pour une dimension humaine et culturelle du projet de la réserve de biosphère transfrontalière

Maroc-Andalousie. Rapport d'étude financée par le programme UNESCO/MAB. Laboratoire de diversité et conservation des systèmes biologiques (LDICOSYB). Faculté des Sciences, Université Abdelmalek Essaadi (Maroc), 42 p. + Annexes.

Azontondé, H. A., 1991: Propriétés physiques et hydrauliques des sols au Bénin. Soil Water Balance in the SudanoSahelian Zone (Proceedings of the Niamey Workshop). IAHS (199), 90 p.

Azontondé H. A., Feller C., Ganry F., Remy J. C., 1998. Le Mucuna et la restauration des propriétés d'un sol ferrallitique au sud du Bénin. Agriculture et Développement n°18, CIRAD-Montpellier, France, 14-21.

Azontondé H.A., 2000. Dynamique de la matière organique et de l'azote dans le système Mucuna-maïs sur un sol ferrallitique (terre de barre) au Sud-Bénin. Thèse de doctorat. ENSA-Montpellier, France, 241 p.

Blaise D. Girard M.C., 2005. Référentiel Pédologique. AFES et INRA éditeurs. 332 p.

Bokonon-Ganta E., 1995 : Stratégies d'adaptation aux contraintes pédo-climatiques en terroir loukpa (nord-ouest du Bénin). In Annales de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, actes d,u colloque SPP/E tenu à Niamey du 14 au 15 déc, pp. 151-169.

Boli Z., Roose E., Bep Aziem B., Sanon K., Waechter F., 1993. Effets des techniques culturales sur le ruissellement, l'érosion et la production de coton et maïs sur un sol ferrugineux tropical sableux du Nord Cameroun (M'bissiri, 1991-1992), CahOrstomSérPédol ; 28 : 309-26.

Bongi, S., G. Obama, A.S. Le Dain, A. Cossi, 2009 : Analyse Global de la Vulnérabilité de Sécurité Alimentaire et de la Nutrition (AGVSAN) ; PAM-Bénin ; 168 p.

CeRPA-Atacora/Donga, 2004. Rapport annuel d'activités : Campagne agricole 2003-2004. Natitingou, Bénin, 106 p.

CeRPA-Atacora/Donga, 2005. Rapport annuel d'activités : Campagne agricole 2004-2005. Natitingou, Bénin, 145 p.

CeRPA- Atacora/Donga, 2013. Rapport annuel d'activités : Campagne agricole 2012-2013. Natitingou, Bénin, 133 p.

Da D. C. E., 2008 : Impact des techniques de conservation des eaux et des sols sur le rendement du sorgho au centre-nord du Burkina Faso. Les Cahiers d'Outre-Mer ; n° 241-242, 99-110.

Démon A., 1991. Activités humaines et dégradation de l'environnement dans la Circonscription Urbaine de Kandé. Mémoire de Maîtrise de Géographie, FLASH-UNB, 101 p.

Dixon J., Gulliver A., Gibbon D., 2001. Farming systems and poverty: improving farmers livelihoods in a changing world. Rome, Washington, FAO et Banque Mondiale.

Fangnon B., 2012. Qualité des sols, systèmes de production agricole et impacts environnementaux et socioéconomiques dans le Département du Couffo au Sud-Ouest du Bénin. Thèse de Doctorat Unique, EDP/FLASH/UAC, 308 p.

FAO, 2003. Gestion de la fertilité des sols pour la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne. Rome, Italie, 63 p. En ligne: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/006/x9681f00.pdf>, consulté le 15/04/13.

Faure, P., 1977 : Carte pédologique de reconnaissance de la République populaire du Bénin. ORSTOM, Paris.

Gbèhounou G., Pieterse A. H., Verkleij J. A. C., 2000.

- Endogenously induced secondary dormancy in seeds of *Striga hermonthica*. *Weed Science*, **48** (5) 561-566.
- Gléhouénu D., 2015. Dégradation des terres dans l'Atacora. Département de l'Atacora au Nord-Ouest du Bénin. 160p. The Rufford Foundation <https://www.rufford.org/.../201571%20Promotional%20Materials.pdf>
- Honlonkou N. A., 1999. Impact économique des techniques de fertilisation des sols : cas de la jachère *Mucuna* au sud du Bénin. Thèse de Doctorat de 3<sup>e</sup> cycle. Côte d'Ivoire : CIRES, 187 p.
- Hauchart V., 2006. Le coton dans le Mouhoun (Burkina Faso) un facteur de modernisation agricole perspectives et développement ? *Cahiers d'Agricultures*, **15** (3) : 285-291.
- Houndenou C., Hernandez K., 1998 : Modification de la saison pluviométrique dans l'Atacora (1961-1990). Un exemple de sécheresse au nord-ouest du Bénin (Afrique occidentale). *Sécheresse*, **1** (9) : 23-34.
- INSAE, 2008. Monographie de la Commune de Natitingou, DED, MPDEAP, Cotonou, Bénin, 117p.
- INSAE, 2009 : Enquête Modulaire Intégrée sur les Conditions de Vie des Ménages.
- INSAE, 2013. Evaluation de la pauvreté au Bénin. Draft provisoire. Ministère du Plan et du Développement. République du Bénin. 218P.
- ISRIC., 2007. Programme des Nations Unies sur l'évaluation scientifique sur l'état de la dégradation des sols causée par les activités humaines (GLASOD) 9 p.
- Kiansi Y., 2011. Cogestion de la Réserve de Biosphère de la Pendjari : Approche concertée pour la conservation de la biodiversité et le développement économique local. Thèse de Doctorat Unique, Université d'Abomey-Calavi, 275p.
- Kombienou P.D., 2010. Systèmes agricoles et conséquences des pratiques culturales sur les terres de la chaîne de l'Atacora : cas des terroirs de Boukombé. Mémoire de DEA, EDP/FLASH/UAC, Cotonou, Bénin, 107 p. + Annexes.
- Kombienou P.D., Arouna O., Azontondé A. H., Mensah G. A., Sinsin B. A., 2015. Caractérisation du niveau de fertilité des sols de la chaîne de l'Atakora au nord-ouest du Bénin. *Journal of Animal & Plant Sciences*, **25**(2): 3836-3856.
- Kombienou P.D., Arouna O., Azontondé H. A., Mensah G. A., Sinsin A.B., 2016. Influences des activités agricoles sur la fertilité des sols de la chaîne de l'Atakora au nord-ouest du Bénin. *Rev. Sc. Env. Univ., Lomé (Togo)*, **11**(1) : 381-404.
- Kombienou P.D., 2016. Influences des systèmes de productions agricoles sur l'occupation des terres, la fertilité des sols et l'agro-biodiversité en zone montagneuse au nord-ouest du Bénin. Thèse de Doctorat Unique, EDP/FLASH/UAC, Cotonou, Bénin, 281 p. + Annexes.
- Kombienou P. D.; Azontondé A. H.; Mensah G. A., Sinsin B. A., 2019. Evaluation de l'état des sols au nord-ouest de l'Atacora au Bénin. *Annales des sciences agronomiques, Spécial Sciences des sols* (1) : 79-95, 2019 ISSN 1659 – 5009. 17p.
- Kombienou P.D.; Dagbenonbakin D. G.; Mensah G.A., Sinsin A. B. J. Appl. Biosc.2020. Impacts socio-environnementaux des activités agricoles en zone de montagnes au Nord-Ouest de l'Atacora au Bénin. *Journal of Applied Biosciences* **145** (1) :14914-1929 ; ISSN1997-5902.
- Koundé C.Z., 1998. Etude de l'impact du compost à base d'ordures ménagères sur la fertilité d'un sol ferrugineux tropical à Djougou. Thèse d'ingénieur agronome. Cotonou, Bénin, FSA/UNB, 96 p.
- Léopold L. B., Charke F. E., Hanshaw B. B., Bashley J. R., 1971. A procedure for evaluation environmental impacts. US Geological Survey Circular, Washington, D.C, 645 P.
- Louhichi K., 2001. Essai de modélisation bio-économique de la relation agriculture-environnement : Le cas de l'érosion en Tunisie. Thèse de Doctorat de l'Université Montpellier I. Faculté des Sciences Economiques. France. 321p.
- Mankessi J., 2013. Les contraintes climatiques et bioclimatiques et leurs incidences en agriculture pluviale sur le plateau Babembé (Congo Brazzaville). Thèse de doctorat, 288 p
- Mulder I., 2000. Soil degradation in Benin: Farmers perception and responses. Tinbergen Institute, Research series N° 240 Vrije Universiteit Amsterdam, Hollande, 241 p.
- Natta J. N. K., 1999. Tradition et développement : Occupation, exploitation du sol et organisation spatiale chez les Bétammaribè du Nord-Bénin. Mémoire de Maîtrise, UNB/Bénin, 1999, Cotonou, Bénin, 138 p.
- ONASA, 2003. Stratégie béninoise pour la sécurité alimentaire. ONASA, Cotonou, Benin, 15 p.
- ONASA, 2006. Résultats de l'évaluation de la production vivrière, campagne 2005-2006 et perspectives alimentaires pour 2006, 15 p.
- Ouorou Barré F.I., 2014. Contraintes climatiques, pédologiques et production agricole dans l'Atacora (nord-ouest du Bénin). Thèse de Doctorat Unique, EDP/FLASH/UAC, 264 p.
- PAVICO, 2002. Monographie de la commune de Toucountouna. GTZ, Coordination régional Nord. Natitingou, Bénin, 60 p.
- PNUD, 1997. Rapport sur le développement humain au Bénin. 132 p.
- PNUD, 2004. Rapport sur la situation économique et sociale du Bénin. PNUD, juin 2005. [en ligne] Adresse URL : <http://www.undp.org/bj/publications/Rapport-Economique-Et-Social-BENIN-2004.pdf>
- Ramade F., 1991: <http://msncoa.org/.../MSNCOA>, 23rd Annual Conference Ramade Hilltop a Natchez-Convention-Center-March7-10rd 1991 pdf.
- Roufaï M. Chakirou, 2005. L'évaluation environnementale face aux enjeux d'un développement agricole durable en Afrique de l'Ouest. 10<sup>ème</sup> Colloque international des spécialistes francophones en évaluation d'impacts. Angers du 20 au 24 Juin 2005. Doctorant à l'Ecole doctorale de Paris-Sorbonne UFR de Géographie et Aménagement. 191, rue Saint Jacques 75005 Paris, France, 9p.
- Sabi Lolo Ilou B., 2015. Impact des feux de végétation sur les services éco-systémiques dans la Réserve de Biosphère de la Pendjari. Mémoire de Master, MIRD/FLASH/UAC, 64 p.
- Sodhi N. S., Lee T. M., Koh L. P., Brook B. W., 2009. A meta-Analysis of the impact of anthropogenic forest disturbance on Southeast Asia's Biotas. *Biotropica*, **41** (1): 103-109.
- Solidarité Union-Coopération (SUICO), 2008. La terre est la principale source de nourriture et de revenu pour la moitié de la population mondiale. Approche de développement Agro-environnementale. 22P.

- Tchegnon P., 2006. Monographie de la Commune de Boukombé, Afrique Conseil, PRODECOM, Mission de la Décentralisation, Cotonou, Bénin, 60 p.
- Tchegnon P., 2006. Étude sur le rôle de la commune de Boukombé dans la promotion économique et la valorisation des filières porteuses. MAEP, Bénin, 60 p.
- Tchegnon P., 2006. Étude sur le rôle de la commune de Natitingou dans la promotion économique et la valorisation des filières porteuses. MAEP, Bénin, 85 p.
- Tchegnon P., 2006. Étude sur le rôle de la commune de Tanguiéta dans la promotion économique et la valorisation des filières porteuses. MAEP, Bénin, 68 p.
- Tefft J., John S., Kelly V., Eric M. W., 1998. Filière coton africain dans la zone franc : Etude comparative régionale, rentabilité, revenu et contraintes. INSAH., Bamako, Mali, 34p.
- Thibault A., 2005, Le traitement des régionalismes dans les notices étymologiques du *Trésor de la langue française: l'exemple du vocabulaire de G. Guèvremont*, in É. Buchi (ed.), Actes du Séminaire de méthodologie en étymologie et histoire du lexique (Nancy/ATILF, année universitaire 2005-2006), Nancy, ATILF Lexicographie et variation diatopique: le cas du français (CNRS/Université Nancy 2/UHP), publication électronique ([www.atilf.fr/atilf/seminaires/Seminaire\\_Thibault\\_2005-10.pdf](http://www.atilf.fr/atilf/seminaires/Seminaire_Thibault_2005-10.pdf)), 36 p.
- Tossou C. C., Sinsin B., 2007 : Importance socioéconomique des principales espèces fruitières cultivées sur le plateau d'Allada au sud du Bénin. In Premier Colloque de l'UAC des Sciences, Cultures et Technologies du 25 au 29 juin au Campus d'Abomey-Calavi. pp279-288.
- Hours V., El Hashim H., Chambolle J., 2017. L'agriculture africaine : les défis de nourrir la population, développer l'économie et préserver l'environnement. Afrique durable 2030. Une revue du Think& Do tank Africa 21. Association Africa 21 C/o Maison Kultura Rue de Montbrillant 521202 Genève- Suisse 195p.
- Wartena D., 1997. Marchandisation et production agricole féminine, In J. Daane, M. Breusers et E. Frederiks (éds), Dynamique paysanne sur le plateau Adja du Bénin. Karthala, Paris. pp.115-151.
- Zinzindohoué, 2012. Etat des lieux de la sécurité alimentaire dans le département de l'Atacora (au Nord-Ouest du Bénin) et analyse des politiques publiques. Master of Advanced studies en Action Humanitaire. CERAH GENEVE, 50p.

## Evaluation au laboratoire de l'efficacité de la combinaison de l'huile de neem et du champignon entomopathogène *Beauveria bassiana* vis-à-vis de *Maruca vitrata* (Fabricius) (Lepidoptera : Crambidae)

<sup>1</sup>A. Kindozandji, <sup>1</sup>O. K. Douro Kpindou, <sup>2</sup>K. Amevoïn, <sup>1</sup>A. N. Nondichao, <sup>2</sup>A.I. Glitho & <sup>1</sup>M. Tamó

### Résumé

L'une des contraintes à la production du niébé est la pression parasitaire provenant des insectes et maladies. L'objectif de l'étude était d'évaluer, au laboratoire, l'efficacité de l'huile de neem, du champignon entomopathogène *Beauveria bassiana* et de leur combinaison sur les larves de *Maruca vitrata*, ravageur majeur du niébé en culture. Le traitement à l'huile de neem (riche en azadirachtine) a été fait en nourrissant les larves de *M. vitrata* avec des graines de niébé prégermées trempées dans l'huile de neem. Le traitement au *B. bassiana* a consisté en une application topique de 2 µl de la solution fongique déposée sur le corps de chaque larve. Pour tester l'efficacité de la combinaison des deux biopesticides, 2 µl de *B. bassiana* ont été déposés sur chaque larve une heure après sa mise en contact avec les graines prégermées traitées à l'huile de neem. Le dispositif utilisé était un bloc complètement aléatoire avec quatre répétitions. La mortalité a été observée quotidiennement. Les taux de mortalité des larves de *M. vitrata* ont augmenté avec la dose de *B. bassiana* et les jeunes larves ont été plus sensibles que les plus âgées. La sensibilité à l'azadirachtine était accentuée sur les jeunes chenilles avec un taux de mortalité élevé de 96,66 ± 1,92% à 100,00 ± 0,00%. Le taux de mortalité des larves est plus élevé avec la combinaison des deux pesticides variant entre 65 ± 6,87% et 100 ± 0,00%. L'interaction des deux était de type synergique ou additif. L'analyse de régression de Cox a indiqué que les différentes doses du champignon ont un prédicteur significatif dans la mortalité des larves de *M. vitrata*. Les biopesticides testés semblent être de bons candidats pour la gestion de *M. vitrata* dans les champs de niébé.

**Mots clés:** Niébé, huile de neem, *Beauveria bassiana*, *Maruca vitrata*, Mortalité larvaire.

### Abstract

#### Laboratory assessment of the effect of the combination of neem oil with the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* against *Maruca vitrata* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae)

One of the major constraints to cowpea production is biotic pressure from insects and diseases. The objective of the study was to evaluate, in the laboratory, the efficacy of neem oil, the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (isolate Bb 115) and their combination on the larvae of *Maruca vitrata*, major cowpea field pests. Neem oil treatment was done by feeding of *M. vitrata* larvae using pre-germinated cowpea seeds soaked in neem oil. *B. bassiana* treatment consisted of a topical application of 2 µl of the fungal solution on the body of each larva. For the combination, 2 µl of *B. bassiana* were applied to each larva an hour after their submission to the pre-germinated seeds infected with neem oil. The different treatments were arranged in a completely random block design with four replicates. Larval mortality was checked daily. Results revealed that the mortality rates increased with *B. bassiana* doses, young *M. vitrata* larvae being more susceptible than the older ones. Susceptibility to *Azadirachtin* was higher in young caterpillars with a mean mortality rate ranging between 96.66 ± 1.92% and 100.00 ± 0.00%. The larval mortality rate is higher with the combination of the two pesticides ranging between 65 ± 6.87% and 100 ± 0.00%. The interactions were synergistic or additive in neem oil and *B. bassiana* combinations. Cox regression analysis indicated that different doses of the fungus had a significant predictor in the mortality of *M. vitrata* larvae. The results showed that the biopesticides tested could be good alternative for *M. vitrata* management in cowpea.

**Key words:** Cowpea, Neem seed oil, *Beauveria bassiana*, *Maruca vitrata*, larval mortality.

Corresponding author: A. Kindozandji, E-mail: [kinauguste@yahoo.fr](mailto:kinauguste@yahoo.fr)

### Introduction

Le niébé, *Vigna unguiculata* (L.) Walp., principale légumineuse en Afrique occidentale est une plante dont la contribution à la sécurité alimentaire et à la croissance économique du monde rural est considérable. Il est produit dans les régions péri-urbaines et rurales des zones tropicales et équatoriales (Mortimore *et al.*, 1997). En Afrique de l'Ouest, le rendement moyen du niébé ne dépasse guère 600

kg/ha (OBEPAB, 2004) malgré les qualités agronomiques de cette plante et les conditions pédoclimatiques favorables à sa culture. La contrainte majeure à la production du niébé est la pression parasitaire provenant des insectes et maladies. Le niébé est en effet, une plante de prédilection des insectes et est donc attaqué depuis la levée jusqu'en stocks par différents insectes ravageurs. Les plus connus et les plus dévastateurs des cultures et des stocks de cette denrée sont *Maruca vitrata*

Fabricius (Lepidoptera : Crambidae), *Megalurothrips sjostedti* Trybom (Thysanoptera : Thripidae), *Aphis craccivora* Koch (Homoptera: Aphididae), *Clavigralla tomentosicollis* Stål (Hemiptera : Coreidae), *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Chrysomelidae- Bruchinae). (Liao et Lin, 2000 ; Egho, 2011). Les dégâts provoqués par ces ravageurs sont en général importants si bien que la production du niébé est totalement hypothéquée en l'absence de toute mesure de protection phytosanitaire. L'un de ses ravageurs importants est la foreuse de fleurs et de gousses *M. vitrata*. Elle a une très large distribution géographique dans les régions tropicales et subtropicales où elle est responsable de dégâts parfois très graves (Singh et Allen, 1979). Selon Atachi *et al.* (2007), les dommages et les pertes de rendement dus à cet insecte se situent entre 20 et 80%. Pour lutter contre ces ravageurs, les producteurs ont recours aux produits chimiques de synthèse, dont l'usage abusif entraîne des effets néfastes aussi bien sur l'environnement que sur la santé humaine (Ekesi, 1999). Il s'avère donc nécessaire de développer d'autres méthodes alternatives de lutte contre les ravageurs du niébé. L'une d'elles est la lutte biologique qui implique l'usage d'auxiliaires dont les prédateurs, les parasitoïdes et des microorganismes (Van Lenteren *et al.*, 2006). Les biopesticides testés jusqu'à présent sont d'origine végétale ou microbienne. Il s'agit essentiellement de l'huile de neem et du champignon entomopathogène *Beauveria bassiana*. Des travaux récents ont montré que l'huile de neem était toxique pour les chenilles de *Sylepta derogata* Fabricius (Lepidoptera : Pyralidae). Il existe une corrélation positive entre le taux de mortalité et la concentration (Ganda *et al.*, 2018). Aussi, ce pesticide d'origine botanique est plus efficace que l'insecticide chimique, la Deltaméthrine dans la gestion des ravageurs du niébé et améliore son rendement (Toffa-Mehinto *et al.*, 2014a). Des espèces de champignons telles que *Beauveria bassiana* ont été identifiées comme des microorganismes prometteurs dans la lutte contre *M. vitrata* (Toffa Mehinto *et al.*, 2014b). La virulence de cet isolat a été prouvée aussi bien au laboratoire qu'en milieu paysan sur les différents stades larvaires de *M. vitrata* (Toffa Mehinto *et al.*, 2014c). Le taux de mortalité des larves de *M. vitrata* a été proportionnel à l'augmentation du nombre de conidies par millilitre contenu dans la solution. S'agissant de l'huile de neem Sokame *et al.* (2015) ont démontré que les taux de mortalité des larves de *M. vitrata* avaient augmenté avec l'élévation de la concentration de l'huile de neem. De même, Jackai et Oyediram (1991) ont prouvé que l'huile de neem à 5% avait un effet inhibiteur prononcé sur les chenilles de *M. vitrata*.

On s'emploie aujourd'hui à combiner ces types de biopesticides le plus souvent utilisés seuls pour lutter contre certains insectes nuisibles spécifiques dans l'optique d'améliorer leur spectre d'action. Cependant, les effets qu'entraînent ces combinaisons ne sont pas nécessairement synergiques ni même additionnels.

L'objectif de l'étude a été d'évaluer l'efficacité de l'huile de neem, de *B. bassiana* (isolat 115) et de leurs combinaisons contre *M. vitrata*.

## MATERIEL ET METHODES

### Sites d'étude

De juillet 2017 à mars 2018, les travaux ont été conduits au laboratoire d'entomologie de la station de l'Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA-Bénin) au Bénin où la température moyenne était de  $26,75 \pm 0,27^\circ\text{C}$  et l'humidité relative moyenne de  $54,45 \pm 1,99\%$ .

L'IITA-Bénin est située à Togoudo ( $06^\circ 21'55''\text{N}$ ,  $02^\circ 25'50''\text{E}$ ) dans la commune d'Abomey-Calavi, département de l'Atlantique, au Sud du Bénin ; à 12 km au Nord-Ouest de Cotonou (capitale économique de la République du Bénin) et à 2,5 km environ de la voie inter État Cotonou-Bohicon avec une altitude de 15 m au-dessus de la mer.

### Dispositif expérimental

L'essai a été conduit suivant un dispositif en blocs complètement aléatoires, incluant plusieurs facteurs. Il s'agit des stades de développement de l'insecte test, l'huile de Neem, l'isolat de *B. bassiana* Bb 115 et les combinaisons à base d'huile de neem et de Bb 115. Les modalités des facteurs se présentent comme suit:

- Témoin absolu sans aucun traitement ;
- Huile de neem à la concentration de 12%. Cette concentration a été choisie suite aux différents travaux effectués à l'IITA station Bénin sur les différentes concentrations de l'huile de neem (Mikpon-aï, 2017 ; Mama *et al.*, 2016);
- Trois niveaux de conidies (poudre) du champignon Bb 115 issu d'une larve de *M. vitrata* et produite au laboratoire de pathologie de l'IITA-Bénin :  $10^7$  conidies/ml ;  $10^8$  conidies/ml ;  $10^9$  conidies/ml. Ces différentes concentrations ont été obtenues par dilution dans l'eau distillée des conidies de *B. bassiana*, isolat Bb 115;
- trois niveaux de combinaison de l'huile de neem 12% + Bb 115 notamment  $10^7$  conidies/ml et 12% d'huile de neem;  $10^8$  conidies/ml et 12% d'huile de neem;  $10^9$  conidies/ml et 12% d'huile de neem.

### Procédure d'application des biopesticides

-Test avec huile de Neem : les graines prégermées de niébé ont été trempées pendant 30 à 45 minutes dans l'émulsion de l'huile de Neem. Elles ont ensuite été retirées et séchées par ventilation dans les conditions ambiantes pendant 10 à 15 minutes. Deux de ces graines traitées à l'huile de neem ont été ensuite déposées dans des boîtes de 30 cm<sup>3</sup> contenant une larve soit L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub> ou L<sub>5</sub> de *M. vitrata*. Chaque traitement a été répété quatre fois.

- Tests avec Bb 115 : deux microlitres de la dilution de Bb 115 aux concentrations de  $10^7$  conidies/ml,  $10^8$  conidies/ml et  $10^9$  conidies/ml ont été utilisées par application topique sur chaque stade larvaire L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub> ou L<sub>5</sub> de *M. vitrata* déposée dans des boîtes contenant deux graines prégermées de niébé. Chaque traitement a été répété quatre fois.
- Tests avec combinaison d'huile de neem et de Bb 115 : une heure après exposition des larves L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub> ou L<sub>5</sub> de *M. vitrata* aux graines prégermées et traitées à l'huile de neem, 2 µl de la suspension de Bb 115 aux concentrations  $10^7$  conidies/ml ;  $10^8$  conidies/ml;  $10^9$  conidies/ml ont été déposées sur chaque larve. Chaque traitement a été répété quatre fois.

### Collecte des données

Pour chacune des situations expérimentales, un suivi a été effectué pendant 14 jours pour relever la mortalité larvaire et 14 jours pour le suivi de la sporulation. Les insectes morts par Bb 115 dans les traitements uniques ou associatifs ont été incubés dans des boîtes de pétri contenant du papier filtre pour l'observation de la sporulation. La sporulation est la production de conidies sur le corps de l'insecte hôte.

## Analyses des données

L'analyse descriptive des données collectées a été faite à l'aide du tableur Excel. Les taux de mortalité et de sporulation ont subi une transformation arc sinus avant toute analyse pour normaliser les données. Les comparaisons statistiques entre les différents traitements ont été réalisées à l'aide d'une analyse de la variance (ANOVA) utilisant le logiciel SAS version 9.2. Lorsque l'analyse de variance révèle des différences significatives le test de séparation des moyennes de Student-Newman-Keuls (SNK) a été appliqué au seuil de 5% par la procédure <<General Linear Models>>(GLM).

Le Temps Moyen de Survie (TMS) a été calculé en utilisant une analyse de Kaplan Meier de survie (SPSS 16). Les TMS ont été transformés en log, avant d'être soumis à une analyse de variance (ANOVA). Les différents traitements ont été comparés, utilisant le logiciel SPSS, 16. Lorsque les valeurs de  $F$  sont statistiquement significatives, les moyennes ont été comparées à l'aide du test SNK (Student-Newman-Keuls) au seuil de probabilité de 5%.

### Estimation des types d'interaction entre les 2 biopesticides en combinaison

Les types d'interaction ont été déterminés selon la méthode de Trang *et al* (2002) par la détermination du facteur de cotoxicité pour estimer les effets de combinaisons. Ce facteur est calculé par la formule suivante:

$$CTF = \frac{OM - EM}{OM} \times 100$$

CTF = facteur de cotoxicité

OM = pourcentage de mortalité observé pour la combinaison

EM = pourcentage de mortalité attendue (nombre moyen de mortalités induites par chacun des insecticides).

Ce facteur est utilisé pour tester les hypothèses suivantes:

- $H_A = CTF > 20$ , correspondant au synergisme;
- $H_B = CTF < -20$ , correspondant à un antagonisme ;
- $H_C = -20 < CTF < +20$ , correspondant à un effet additif.

### Estimation de la DL50 (Dose Létale 50)

La modélisation des données temps-dose-mortalité a été effectuée en utilisant le modèle « Cox régression » (Cox, 1972) dans le logiciel SPSS 16. La fonction de risque est utilisée par les modèles de régression de Cox pour estimer le risque d'échec relatif. La fonction de risque,  $h(t)$  est une évaluation de la mort potentielle d'un individu par unité de temps à un moment donné, étant dit que l'individu a survécu jusqu'à ce moment. Les modèles de *Cox-régression* sont exprimés en termes de fonction de risque comme suit :

$$h(t) = [h_0(t)]e^{(BX)} \quad (1)$$

Où  $X$  représente log (dose),  $B$  le coefficient de régression qui est le risque relatif (ici risque instantané de mortalité) associé à un traitement par rapport à un autre traitement,  $e$  la base du logarithme népérien et  $h_0(t)$  la fonction de risque lorsque  $X$  est égal à 0.

La fonction cumulative de risque,  $H(t)$ , est liée à la fonction de survie et peut être dérivée de cette dernière comme suit :

$$H(t) = -\ln S(t) \quad (2)$$

Avec  $S(t) = \Pr \{T \geq t\}$ ,  $t \geq 0$  ;

Pour  $t$  fixé,  $c$ 'est la probabilité de survivre jusqu'à l'instant  $t$ .

$t$  est une variable aléatoire symbolisant le moment du décès,

$\Pr$  est la fonction probabilité et  $S(t)$  la fonction de survie.

La fonction de survie est égale à la probabilité que le décès intervienne après un temps  $t$  donné. La fonction de risque et la fonction de survie sont étroitement liées, et toutes les deux ont été calculées en utilisant le procédé de Cox régression (SPSS 16).

La DL50 est définie comme la dose d'un agent (chimique ou biologique) nécessaire pour produire la mort de la moitié des organismes testés à un moment donné après application (Maddox, 1982). La DL50 peut être dérivée des équations (1) et (2) comme suit :  $X = 10^{[\ln(\ln(0,5) - \ln(h_0(t)))/B]}$

Les intervalles de confiance pour la DL50 ont été calculés sur la base des mêmes équations, utilisant les informations suivantes : écart-type (SD) de  $B$  et écart-type (SD) de  $h_0(t)$ .

## RESULTATS

### Mortalité des stades larvaires de *M. vitrata* en fonction des traitements.

Le tableau 1 indique les taux de mortalités causés par les biopesticides utilisés sur les larves de *M. vitrata*.

Comparativement au témoin, le taux de mortalité des larves traitées a été plus élevé avec les biopesticides utilisés seuls ou en combinaison. Il en ressort que les larves  $L_1$ ,  $L_2$  et  $L_3$  ont été sensibles à l'émulsion de l'huile de neem avec une mortalité comprise entre 96,66 ± 1,92% à 100,00 ± 0,00%. Cette mortalité était moins prononcée pour les larves  $L_4$  et  $L_5$  avec 50,83 ± 2,83% et 37,50 ± 2,90%, respectivement. Une réponse effet/dose a été observée pour l'isolat *Bb* 115, surtout avec les larves  $L_1$ ,  $L_2$  et  $L_3$  mais ce n'est pas le cas avec les larves de stade 4 et stade 5 où les taux de mortalité de  $L_4$  varient entre 33,75 ± 4,75% à 46,25 ± 3,14% et de 32,50 ± 3,22% à 46,25 ± 2,39 pour  $L_5$  malgré la variation de concentration. Par contre, les combinaisons effectuées contrôlaient mieux les stades larvaires  $L_4$  et  $L_5$  de *M. vitrata* avec un taux de mortalité compris entre 65 ± 6,87% à 100 ± 0,00% (tableau 1)

Tableau 1 : Taux de mortalité (moyenne ± SE) des stades larvaires de *M. vitrata* avec les différents traitements

Traitements	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>
Témoin	8,50 ± 2,04 c	8,33 ± 0,96 d	7,50 ± 1,44 e	6,25 ± 2,39 e	5 ± 2,88 f
Huile de Neem 12%	100,00 ± 0,00 a	96,66 ± 1,92 a	100,00 ± 0,00 a	50,83 ± 2,83 c	37,50 ± 2,90 e
<i>Bb</i> 115 10 <sup>9</sup> conidies/ml	71,25 ± 5,54 b	46,25 ± 3,14 c	47,50 ± 6,61 d	33,75 ± 4,75 d	32,50 ± 3,22 e
<i>Bb</i> 115 10 <sup>8</sup> conidies/ml	85,00 ± 3,53 b	65,00 ± 5,77 b	71,25 ± 2,39 c	38,75 ± 2,39 d	36,25 ± 3,75 e
<i>Bb</i> 115 10 <sup>7</sup> conidies/ml	96,25 ± 2,39 a	91,66 ± 2,25 a	88,75 ± 2,15 b	46,25 ± 3,14 cd	46,25 ± 2,39 d
Huile de Neem 12%+ <i>Bb</i> 115 10 <sup>9</sup> conidies/ml	100,00 ± 0,00 a	100,00 ± 0,00 a	95,83 ± 4,16 a	86,66 ± 4,71 b	65 ± 6,87 c
Huile de Neem 12%+ <i>Bb</i> 115 10 <sup>8</sup> conidies/ml	98,33 ± 1,66 a	100,00 ± 0,00 a	100 ± 0,00 a	92,5 ± 2,50 b	91,66 ± 2,88 b
Huile de Neem 12%+ <i>Bb</i> 115 10 <sup>7</sup> conidies/ml	100,00 ± 0,00 a	100,00 ± 0,00 a	100 ± 0,00 a	100 ± 0,00 a	99,16 ± 0,83 a

Les moyennes (± SE) d'une même colonne suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes entre elles suivant le test t (SNK) au seuil de 5 %  
SE : erreur standard

### Détermination des types d'interactions des différentes combinaisons de l'huile de neem avec le champignon *B. bassiana* et leur impact sur les larves de *M. vitrata*

Le tableau 2 présente deux types d'interactions entre les combinaisons de l'huile de neem et de *Bb* 115 sur les différents stades larvaires de *M. vitrata*. L'interaction était de type additif pour la combinaison Huile de Neem 12%+ *Bb* 115 10<sup>9</sup> conidies/ml pour les larves  $L_1$ ,  $L_2$  et  $L_3$ . Elle était de type synergique pour les larves  $L_4$  et  $L_5$  pour cette même combinaison. Les résultats similaires ont été obtenus avec la combinaison Huile de Neem 12%+ *Bb* 115 10<sup>8</sup> conidies/ml. L'interaction était de type synergique pour la combinaison Huile de Neem 12%+ *Bb* 115 10<sup>7</sup> conidies/ml pour les stades larvaires  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $L_4$ ,  $L_5$  à l'exception de  $L_1$  où l'interaction était de type additif.

**Tableau 2:** Types d'interactions entre les différentes combinaisons par détermination de leur facteur de toxicité sur les stades larvaires

Concentrations	CTF				
	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>
Huile de Neem 12%+ Bb 115 10 <sup>7</sup> conidies/ml	14,37	28,54	23,04	30,22	46,15
Huile de Neem 12%+ Bb 115 10 <sup>8</sup> conidies/ml	0,20	19,17	14,38	24,10	59,77
Huile de Neem 12%+ Bb 115 10 <sup>9</sup> conidies/ml	1,50	5,54	5,62	26,88	57,77

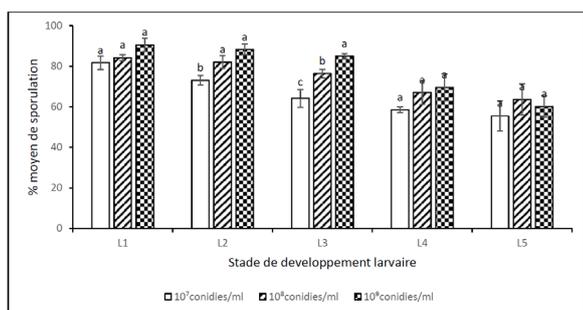
H<sub>A</sub>= CTF> 20, correspondant au synergisme; H<sub>B</sub> = CTF< -20, correspondant à l'antagonisme; H<sub>C</sub>= -20 <CTF<+ 20, correspondant à un effet additif

**Sporulation**

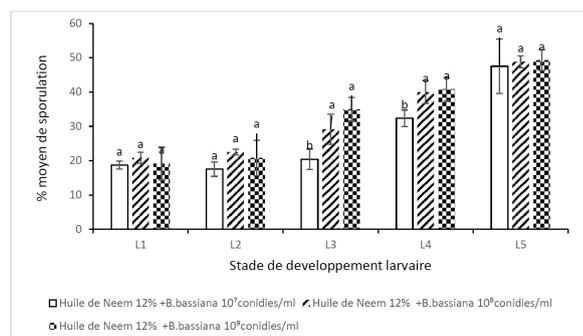
Pour toutes les concentrations de *Bb 115* testées, les larves mortes ont une croissance fongique sur leur cuticule. Avec les larves L<sub>1</sub>, la variation de la concentration de la suspension n'a entraîné aucune différence significative et les taux moyens de sporulation pour les trois concentrations étaient compris entre 81,70±3,35% et 90,53±3,26%. Il en est de même pour les larves L<sub>4</sub> et L<sub>5</sub>, à la différence que les taux de sporulation étaient inférieurs à ceux de L<sub>1</sub>, soit respectivement de 58,48±1,46% à 69,57±6,63% et de 55,53±7,37% à 60,13±5,35%.

Des taux de sporulation proportionnels à l'augmentation de la dose des conidies ont été notés sur les larves L<sub>2</sub> et L<sub>3</sub> (figure1).

La figure 2 montre les pourcentages moyens de sporulation enregistrés après l'incubation des larves mortes avec des traitements associatifs. Les taux de sporulation des larves L<sub>4</sub> et L<sub>5</sub> des combinaisons Huile de Neem 12% + Bb 115 ont été élevés du fait qu'elles ont mis du temps à se nourrir aux graines prégermées traitées à l'huile de neem. Pendant ce temps les conidies ont eu le temps de coloniser ces larves. Ainsi, le taux de sporulation a varié en fonction de l'âge de la larve. Il n'y a pas de différence significative pour les différentes concentrations de *Bb 115* pour les stades larvaires L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> et L<sub>3</sub> pour les combinaisons.



**Figure 1 :** Taux moyens de sporulation des différents stades larvaires en fonction des différentes concentrations de *Bb115*



**Figure 2 :** Taux moyens de sporulation des différents stades larvaires en fonction des différentes concentrations de *Bb115* associées au neem. Les histogrammes surmontés des mêmes lettres ne sont pas significativement différents au seuil de 5% (Analyse de variance suivie de SNK)

**Temps moyen de survie des larves**

À l'issue de cet essai, le temps moyen de survie (TMS) des larves nourries avec le milieu sain (traitement témoin) a été beaucoup plus long. Cependant, le TMS des larves des milieux traités à l'huile de neem et/ou avec Bb 115 a été significativement plus court ( $P < 0,0001$ ). Le TMS des traitements témoins a varié de 7,61±0,17 à 10,90±0,17. Avec l'utilisation des biopesticides, il a varié de 1,51±0,07 à 8,56 ± 0,25.

Comparativement aux témoins, la survie des larves L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub> et L<sub>4</sub> de *M. vitrata* a été significativement affectée par l'huile de neem et le champignon Bb 115. L'analyse de régression de Cox (Tableau 4) a indiqué que les différentes doses du champignon Bb 115 sont un prédicateur significatif dans la mortalité des larves de *M. vitrata* testées ( $P < 0,05$ ) et que le modèle a fourni une bonne régression.

**Tableau 3:** Temps moyen de survie des stades larvaires de *M. vitrata* dans les traitements

Traitements	TMS ± SE			
	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>
Témoins	7,61 ± 0,12 d	10,64 ± 0,28 d	10,64 ± 0,28 e	10,90 ± 0,17 d
Neem 12%	1,51 ± 0,07 a	3,70 ± 0,029 b	3,66 ± 0,27 a	3,70 ± 0,29 a
Bb 115 10 <sup>7</sup> Conidies/ml	6,77 ± 0,33 c	7,26 ± 0,16 c	8,12 ± 0,25 d	8,56 ± 0,25 c
Bb 115 10 <sup>8</sup> Conidies/ml	6,17 ± 0,25 c	7,45 ± 0,24 c	7,56 ± 0,24 c	8,54 ± 0,19 c
Bb 115 10 <sup>9</sup> Conidies/ml	5,65 ± 0,09 c	6,58 ± 0,24 c	7,36 ± 0,24 c	8,02 ± 0,19 c
Bb 115 10 <sup>7</sup> Conidies/ml +huile de neem 12%	2,23 ± 0,11 b	3,35 ± 0,17 b	5,44 ± 0,44 b	5,44 ± 0,44 b
Bb 115 10 <sup>8</sup> Conidies/ml +huile de neem 12%	2,01 ± 0,10 b	2,90 ± 0,14 b	5,13 ± 0,44 b	5,13 ± 0,44 b
Bb 115 10 <sup>9</sup> Conidies/ml + huile de neem 12%	2,02 ± 0,10 b	2,04 ± 0,02 b	5,13 ± 0,45 b	5,13 ± 0,45 b

Les moyennes (± SE) d'une même colonne, suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes entre elles suivant le test t (SNK) au seuil de 5 % SE : erreur standard

**Tableau 4 :** Valeurs des estimations de B résultant de la régression de Cox pour l'isolat Bb 115 sur les trois premiers stades larvaires de *M. vitrata*

Isolat de Champignon	Stades larvaires	B	SE	Wald	ddl	Sig.
Bb 115	L1	0,56	0,013	17,493	1	0,000
	L2	0,62	0,013	21,633	1	0,000
	L3	0,70	0,013	28,748	1	0,000

B : valeur B de la régression Cox ; SE : erreur standard ; Wald : coefficient de Wald ; ddl : degré de liberté ; Sig: Significance

**Variation de la DL 50 après l'application de Bb 115 sur les stades L1, L2, L3 de *M. vitrata***

Les variations de la DL50 après l'application de Bb115 sur les stades L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub> de *M. vitrata* sont présentées par les figures 3, 4, 5. L'ajustement des données par le modèle de régression de Cox pour les courbes de DL 50 a été relativement bon. En effet, il fallait 10<sup>11</sup> et 10<sup>9</sup> conidies/insecte pour tuer 50% des larves L<sub>1</sub> respectivement en 5 jours et 7 jours (Figure 3) et pour L<sub>2</sub>, il fallait 10<sup>11</sup> et 10<sup>12</sup> conidies/insecte respectivement en 5 jours et 7 jours (Figure 4). Quant aux larves L<sub>3</sub>, il fallait 10<sup>11</sup> et 10<sup>12</sup> conidies/insecte de Bb115 pour tuer 50% des larves de *M. vitrata* respectivement en 5 et 7 jours (Figure 5).

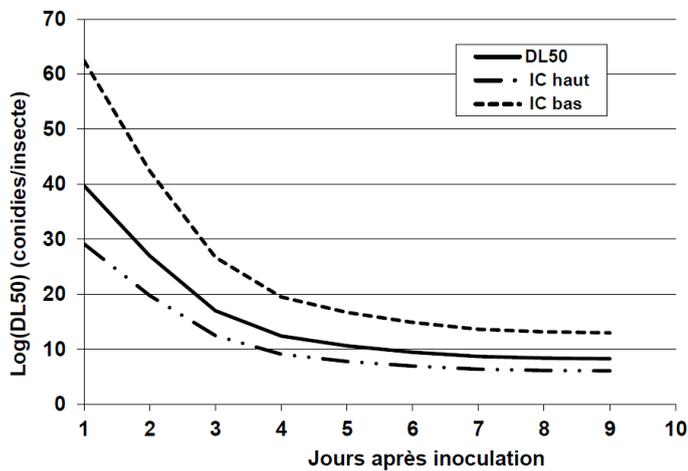


Figure 3 : Valeurs de DL50 après traitement des larves L1 de *M. vitrata* à différentes doses de Bb 115

IC : intervalle de confiance

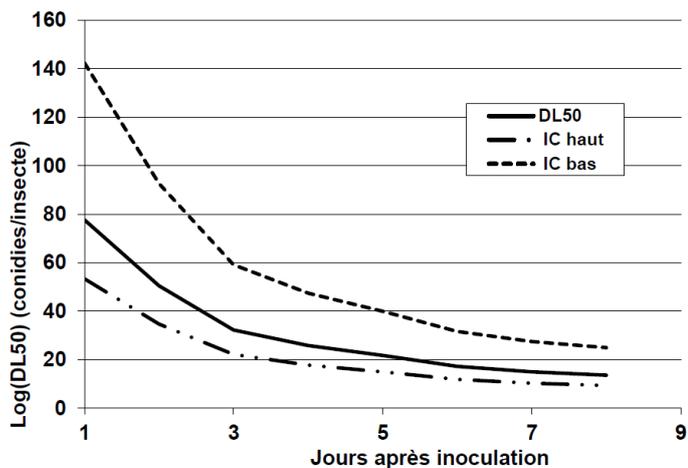


Figure 4 : Valeurs de DL50 après traitement des larves L2 de *M. vitrata* à différentes doses de Bb115

IC : intervalle de confiance

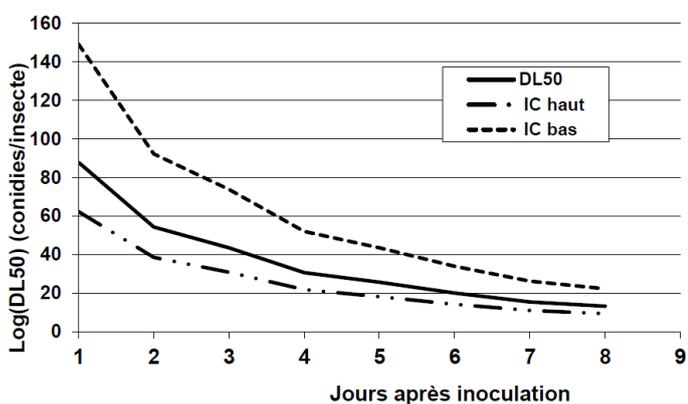


Figure 5 : Valeurs de DL50 après traitement des larves L3 de *M. vitrata* à différentes doses de Bb 115.

IC = intervalle confiance

## DISCUSSION

Il ressort de cette étude que chacune des formulations de biopesticides testées affecte la survie des larves de *M. vitrata*. Ainsi, l'huile de neem à 12% testée sur les larves L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub> et L<sub>5</sub> de *M. vitrata* entraîne une mortalité significativement plus élevée surtout pour les trois premiers stades; ce qui montre l'efficacité remarquable de cette huile sur les larves de *M. vitrata*. Cet effet insecticide a été démontré par bon nombre d'auteurs dont Mama *et al.* (2016) qui ont obtenu des taux de mortalité allant jusqu'à 100% après application de l'huile de neem 15%

sur les stades L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub> et L<sub>4</sub> de *M. vitrata*. De même, Camarda *et al.* (2018) ont obtenu une réduction de 94,67% de la population de l'acarien *Dermanyssus gallinae* Dugès (Mesostigmata ; Dermanyssidae) avec une formulation de l'huile de neem à 20%. Par ailleurs, les forts taux de mortalité jusqu'à 100% des larves de *M. vitrata* soumises à l'aliment contaminé à l'huile de neem pourraient être justifiés par la présence d'azadirachtine contenue dans l'huile de neem. Contrairement aux résultats ci-dessus, Muhammad *et al.* (2018) ont également montré que le taux de mortalité des jassides est de 72,03% pour l'huile de neem à 5%. Cette différence pourrait s'expliquer par le type d'insecte, sa taille et sa biologie. Ces résultats corroborent ceux de Schenk *et al.*, (2001) qui ont prouvé que, lorsque les composantes de neem spécialement l'azadirachtine entrent dans le corps des larves, l'activité de l'ecdysone (hormone stéroïde intervenant notamment dans le processus de la mue) est supprimée. Ceci empêche la métamorphose chez ces dernières.

L'évaluation au laboratoire de la pathogénie de l'isolat Bb115 sur les larves de *Maruca* montre que tous les stades larvaires de l'insecte sont sensibles à cet isolat du champignon *B. bassiana*. Le taux de mortalité des larves varie en fonction de la concentration (nombre de conidies par millilitre contenu dans la solution). Les taux de mortalité des stades larvaires de *M. vitrata* traités à l'isolat Bb 115, à la concentration de 10<sup>9</sup> conidies/ml sont très élevés et similaires. Les tests statistiques réalisés ont permis de valider que le taux de mortalité dans ce cas est proportionnel au nombre de conidies dans la solution. Ces résultats vont dans le même sens que ceux de Toffa (2004, 2008) qui avaient, en effet, montré l'efficacité des isolats de *M. anisopliae* et *B. bassiana* sur la punaise *Clavigralla tomentosicollis* et sur les larves de *Hymeniarcurvalis* L. (Lepidoptera : Pyralidae) et de *Psara basalis* L. (Lepidoptera : Pyralidae) ravageurs de l'amarante, de *Selepa docilis* L. (Lepidoptera : Noctuidae) et de *Phycita melongena* L. (Lepidoptera : Pyralidae) ravageur de la grande morelle. D'autres auteurs ont également montré la sensibilité des larves de *Helicoverpa armigera* aux isolats de *B. bassiana* (Gundannavar *et al.*, 2006 ; Douro Kpindou *et al.*, 2012b). Le taux de mortalité des larves est fonction à la fois de l'espèce de champignon, de l'isolat, de la concentration et des stades larvaires de *M. vitrata* traités. Pour un même isolat, les jeunes larves sont plus vulnérables; ce qui est en adéquation avec les résultats de Kulkarni *et al.* (2008) qui ont montré que les jeunes larves de *H. armigera* étaient plus affectées par les différentes concentrations des conidies de champignons entomopathogènes que les larves âgées. En revanche, pour tous les stades larvaires de *M. vitrata* testés, les effets des concentrations 10<sup>7</sup>, 10<sup>8</sup> et 10<sup>9</sup> conidies/ml sont similaires. Adanvè (2012) au cours de ses travaux, a montré que la dose de 10<sup>6</sup> spores par insecte soit une concentration de 10<sup>9</sup> conidies.ml<sup>-1</sup> de l'isolat 115 de *B. bassiana* avait engendré une mortalité significative des larves L<sub>3</sub> de *M. vitrata* en moins de dix jours. Ceci témoigne du fait que les fortes doses induisent de fortes mortalités. Aussi, dans un contexte naturel, plus la concentration augmente, plus la mortalité croît. Les résultats similaires ont été trouvés par Jimaja *et al.* (2012) et Toffa (2008), qui ont obtenu un fort taux de mortalité des larves avec les fortes doses.

D'une manière générale, les plus faibles taux de sporulation ont été obtenus avec les traitements associatifs. Ceci semble s'expliquer par le fait que l'huile de neem agit plus rapidement que le champignon. Ainsi, ce dernier ne pouvait pas s'extérioriser sur le corps des insectes déjà tués par l'huile de neem. Les larves L<sub>4</sub> et L<sub>5</sub> étant plus robustes ont probablement

résisté à l'effet choc de l'huile de neem, mais tués plus tard par le champignon. Ceci expliquerait le fort taux de sporulation observé sur ces larves mortes.

Les tests issus de la combinaison de deux produits ont induit également, des taux de mortalité élevés sur les larves de *M. vitrata*. Ce qui pourrait être expliqué par le fait que, dans la combinaison des deux produits, l'azadirachtine contenue dans le neem n'a pas inhibé l'action des conidies contenues dans le champignon. Néanmoins, les taux de mortalité pratiquement semblables à ceux obtenus avec les traitements uniques pourraient être dus aux doses des différents produits pris individuellement qui ont déjà occasionné des mortalités élevées allant jusqu'à 100%. Les combinaisons contrôlent mieux tous les stades larvaires de *M. vitrata*.

Les taux de sporulation élevés observés au niveau des larves traitées avec les formulations uniques de *Bb 115* et combinées avec l'huile de neem révèlent de la forte pathogénicité de cet isolat. La sporulation est l'un des facteurs déterminants pour le choix d'un isolat à utiliser comme biopesticide sur le terrain. Elle permet l'augmentation de l'inoculum, favorisant ainsi la transmission des conidies aux insectes non touchés lors des applications au champ (Vega *et al.*, 2003; Douro Kpindou *et al.*, 2005). La pathogénie des isolats de ce champignon entomopathogène sur *M. vitrata* pourrait s'expliquer par le fait que *Bb 115* est un isolat conditionné, c'est-à-dire isolé de *M. vitrata* même. Ces résultats confirment les travaux de Goettel (1992) qui ont démontré qu'un isolat était généralement plus pathogénique envers l'hôte duquel il avait été isolé. D'autres travaux antérieurs comme ceux de Delattre et Jean-Bart (1978) n'ont pas remarqué au niveau des entomopathogènes, une spécificité bien établie avec leurs hôtes. Ces contradictions apparentes entre ces différentes études révèlent la complexité des facteurs impliqués dans la pathogénicité des champignons.

Pour établir la relation isolat-temps-mortalité sur *M. vitrata*, les résultats ont montré que les intervalles de confiance (IC) des temps moyens de survie (TMS) du champignon *Bb115* témoignent de la possibilité de tuer des larves en 5, 6 à 7 jours. La relation isolat-temps-mortalité est bonne avec cet isolat. La survie de l'hôte inoculé a été statistiquement affectée comparativement au témoin. Des auteurs comme Tanada et Kaya (1993), Silvy et Riba (1999) et Ziani (2008), stipulent que les larves des lépidoptères soumises à des isolats virulents meurent dans un délai de 3 à 10 jours après l'infection. En effet, un bon bio insecticide doit être capable de tuer rapidement une proportion importante d'individus dans une épidémie de l'insecte-hôte. Les taux de mortalité de larves, élevés (100%) et survenant tôt dans le temps avec *Bb 115*, témoignent de la grande virulence de ce pathogène. Ces résultats sont conformes à ceux de Valda *et al.* (2003) qui ont obtenu 43-100 % de mortalité de larves de *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae), redoutable ravageur du chou avec les isolats de *B. bassiana* qu'ils ont testés à différentes doses. La virulence de l'isolat est associée non seulement à la production d'enzymes et de mycotoxines au cours de l'infection de l'insecte (McCoy *et al.*, 2000), mais aussi au temps moyen de survie de la population d'insectes exposée à une dose déterminée du pathogène (Goettel *et al.*, 2000).

Des différents résultats obtenus, il s'avère que la mortalité des larves de *M. vitrata* est probablement fonction de la quantité de conidies qu'elles reçoivent. Plus les quantités de conidies augmentent et plus la mortalité des larves s'accroît.

La combinaison des paramètres tels que le taux de mortalité très élevé des larves, la meilleure sporulation observée chez les insectes traités avec *Bb115* uniquement et la courte durée des Temps Moyens de Survie (TMS) des larves traitées avec *B. bassiana* *Bb 115* à la dose de  $10^7$ ,  $10^8$  et  $10^9$  conidies par insecte, font de l'isolat *Bb115* un excellent candidat pour le développement d'insecticides microbiens. Toutefois, une étude plus approfondie de la DL 50 de l'isolat est nécessaire dans une perspective de son utilisation à grande échelle comme biopesticide.

Le modèle de régression de Cox utilisé dans la détermination de la DL 50 de l'isolat virulent *Bb115* a permis de faire une analyse aisée des essais biologiques de biopesticides. Les modèles qui considèrent des effets de temps et de dose semblent être plus appropriés pour évaluer l'efficacité d'un microbe pathogène ou d'un pesticide sur la cible (Robertson et Preisler, 1992). Les modèles de régression de Cox ont permis la modélisation des liens existant entre temps, dose et survie de l'isolat fongique infectant les larves de *M. vitrata* dans les expérimentations de la dose létale.

Les modèles de régression de Cox ont bien fonctionné en modélisant des liens existant dans temps-dose-survie de l'isolat fongique infectant les larves de *M. vitrata* dans ces expérimentations. Toutes les régressions de Cox adaptées aux données de survie obtenues à partir des larves traitées avec différentes doses de cet isolat, ont eu des valeurs moyennes de B élevées et par conséquent des intervalles de confiance (IC haut et IC bas) moins larges et des valeurs de DL50 les moins élevées. Les ajustements des valeurs de B tous significatifs, indiquent une réponse effet/dose significative pour cet isolat et ceci vient confirmer la bonne régression de Cox pour cette dernière sur les jeunes larves de *M. vitrata* testées. Pour la même raison, les courbes de DL50 obtenues ne sont pas très raides et leurs intervalles de confiance ne sont pas trop grands. Ces résultats sont conformes à ceux de Douro Kpindou *et al.* (2012a) lorsqu'ils ont utilisé des isolats de champignons entomopathogènes virulents sur *H. armigera*. Nos résultats montrent également que pour un même stade larvaire, le temps mis pour mourir est fonction de la dose appliquée. De même, à un temps donné, la dose à appliquer est fonction du stade larvaire ; plus le stade est évolué, plus la quantité de conidies à appliquer sera élevée.

En ce qui concerne la combinaison des produits, les taux de mortalité élevés ont été obtenus comparativement à ceux des produits appliqués séparément et les types d'interaction révélés entre eux sont le synergisme et l'effet additif. Ceci semble s'expliquer par le fait que chaque produit n'a aucun effet négatif sur l'expression de l'autre ou dans une large mesure, semble plutôt favoriser l'expression de ce dernier et réciproquement, d'où l'effet synergique.

## Conclusion

Les résultats de ces travaux montrent que l'huile de neem et l'isolat *Bb 115* peuvent être un potentiel insecticide intéressant contre *M. vitrata*. En association, ils ont entraîné une mortalité encore plus forte avec tous les stades larvaires. Ils offrent une utilisation possible en champ pour la répression de ce ravageur.

## Remerciements

Les auteurs expriment leurs sincères remerciements à l'Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA) pour son assistance scientifique et financière. Ils remercient les techniciens du

Laboratoire d'entomopathologie de l'IITA-Bénin et ceux de la section niébé pour leur assistance technique et leur franche collaboration.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Adanvè, F., 2012 :** Etude comparative des différentes concentrations d'inoculation du champignon entomopathogène *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin dans le contrôle des larves de *Maruca vitrata* (Lepidoptera : Crambidae). Mémoire pour l'obtention du diplôme de Licence Professionnelle, Ecole Nationale Supérieure des Sciences et Techniques Agronomiques de Kétou, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 73p.

**Atachi, P., Dannon, E. A., Rurema, D. G., 2007:** Trap cropping and intercropping of pigeon pea (*Cajanus cajan* Millsp.) in pest management of cowpea (*Vigna unguiculata*) in southern Benin: competing risk and pest status in pod attack. *Annales des Sciences Agronomiques du Bénin*, 9: 1-20.

**Camarda, A., Pugliese, N., Bevilacqua, A., Circella, E., Gradoni, L., George, D., Sparagano, O., Giangaspero, A., 2018:** Efficacy of a novel neem oil formulation (RP03™) to control the poultry red mite *Dermanyssus gallinae*. *Medical and Veterinary Entomology* Vol. 32, Issue 3, pp: 290-297.

**Cox, D. R., 1972:** Regression models and life tables. *Journal of the Royal Statistical Society Series B (Methodological)*, Vol. 34, No. 2(1972), pp:187-220 Published by: Wiley for the Royal Statistical Society Stable URL: <https://www.jstor.org/stable/2985181> Accessed: 12-12-2019 16:26 UTC.

**Delattre, P., Jean-Bart, A., 1978 :** Activités des champignons entomopathogènes (*Fungi imperfecti*) sur les adultes de *Cosmopolites sordidus* Germ. (Coleoptera: Curculionidae). *Turrialba*, 28: 287-293.

**Douro Kpindou, O. K., Gbongboui, C., Badou, R., Paa-Kwessi, E., Ackonor, J. B. & Langewald, J., 2005:** Optimisation de l'application du *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* sur le criquet puant, *Zonocerus variegatus* (Orthoptera: Pyrgomorphidae). *International Journal of Tropical Insect Science*, 25: 251-258.

**Douro Kpindou, O. K., Djegui, D. A., Glitho, I. A. & Tamò, M., 2012b:** Sensitivity of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera:Noctuidae) to the entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* in laboratory. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 7: 1007-1015.

**Douro Kpindou, O. K., Djegui, D. A., Glitho, I. A., & Tamò, M., 2012a:** Réponse des stades larvaires de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) à l'application de champignons entomopathogènes *Metarhizium anisopliae* et *Beauveria bassiana*. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 16: 283-293.

**Egho, E. O., 2011:** Evaluation of Neem Seed Extract for the Control of Major Field Pests of Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) under Calendar and Monitored Sprays. *Advances in Environmental Biology*, 5(1): 61-66. DOI: <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v4n1p181>.

**Ekesi, S., 1999:** Insecticide resistance in field populations wasp of the legume pod-borer, *Maruca vitrata* Fabricius (Lepidoptera: Pyralidae), on cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. in Nigeria. *International Journal of Pest Management*, 45: 57-59.

**Ganda, H., Togbé, E. C., Houndété, T. A., Zannou-Boukari, E. T., Gogan, M., Dagbénonbakin, G. D., & Kossou, D.,**

**2018:** Effectiveness of neem seed oil (*Azadirachta indica* A. Juss: Meliaceae) on *Syllepte derogata* Fabricius, Lepidoptera: Pyralidae. *Journal of Applied Biosciences*, 129: 13029 -13038.

**Goettel, M. S., 1992 :** Des champignons comme agents de lutte biologique. *In: La lutte biologique contre les acridiens*. Lomer C. J. & Prior C., (Ed.), Centre for Agricultural Bioscience International/International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria, pp : 122-131.

**Goettel, M. S., Inglis, G. D., & Wraight, S. P., 2000 :** Fungi. *In: Field manual of techniques in invertebrate pathology*. Lacey L.A. & Kaya H.K., (Ed.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp: 255-282.

**Gundannavar, K. P., Lingappa, S., & Giraddi, R. S., 2006:** Susceptibility of *Helicoverpa armigera* (Hubner) to *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin. *Journal of Agricultural Sciences*, 19: 952-953.

**Jackai, L. E. N., et Oyederan, I. A. O., 1991.** The potential of neem (*Azadirachta indica*). A. Juss for control Aling post-flowering pest of cowpea (*Vigna unguiculata* Walp.) The pod borer *Maruca testulalis*. *Insect Sci. Applic.* 12, 103-109.

**Jimaja, A., Mbang, À., Mounjouenpou, P., Mahob, R. J., MbargaAmougou, M., MouenBedimo, J., Nyasse, S., Dibog, L., Bidzanga Nomo, L., Tchouamo, I. R., et Babin, R., 2012:** Evaluation naturelle de l'impact de *Beauveria bassiana* : champignon entomopathogène dans la dynamique de population de S2, pp : 443 – 451.

**Liao, C.T., et Lin, C. S., 2000:** Occurrence of legume podborer *Maruca testulalis* (Geyer) (Lepidoptera: Pyralidae) on cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walp. and its insecticides application trial. *Plant Protection Bulletin-Tapei*, 42(4): 213-222.

**Kulkarni, S. A., Ghormade, V., Kulkarni, G., Kapoor, M., Chavan, S. B., Rajendran, A., Patil, S. K., Shouche, Y., & Deshpande, M. V., 2008:** Comparison of *Metarhizium isolates* for bio control of hypothenemus hampei, scolyte de baies des cerises de coffea canefora. *African Crop Science Journal*, Vol. 20, Issue Supplement *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera:Noctuidae) in chickpea. *Biocontrol Science and Technology*, 18:809-828.

**Mama, B. E., Agbaka, A., Tamò, M., 2016:** Evaluation de l'efficacité de l'huile de neem, biovirus *Mavi* MNPV et leur combinaison dans le contrôle des larves de *Maruca vitrata* au laboratoire. Mémoire de licence, Génie de l'environnement, Université d'Abomey-calavi, Epac (Benin), pp : 29-32.

**McCoy, C. W., Shapiro, W. D. I., & Duncan, L. W., 2000 :** Application and Evaluation of Entomopathogens Application and Evaluation of Entomopathogens for Citrus Pest Control. *In: Field Manual of Techniques in Invertebrate Pathology; Application and Evaluation of Pathogens for insects and other Invertebrate Pests*. Lacy L. A. & Kaya H. K., (Ed.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp. 21-32.

**MIKPON-ai 2017 :** Evaluation des effets de différentes doses de formulations de *MaviMNPV* virus et la combinaison avec l'huile de neem contre *Maruca vitrata* Fabricius (Lepidoptera: Crambidae), ravageur du niébé. Rapport de licence, Génie de l'environnement, Université d'Abomey-calavi, Epac (Benin), pp : 26-27.

**Mortimore, M. J., Singh, B. B., Hanis, F., & Blade S. F., 1997:** Cowpea in traditional cropping system, pp. 99 R 113 *In: Singh, B.B.; Mohan Rag,B. R.; Dashiell, K. 98 E. and Jackai, L.*

- E. N. eds. Advances in cowpea research copublication of International Institute of Agriculture (IITA) and Japan International research center for Agricultural Sciences ( JIRCAS). IITA, Ibadan, Nigeria.
- Muhammad, U. A., Raza, M., Waseem, A., Mubasshir, S., Javed, A. T., and Muhammad, I., 2018:** Comparative efficacy of Neem derivatives and imidacloprid against some cotton pests. *Journal of entomology zoology studies*. 6(3): 113-117.
- OBEPAB, 2004 :** Expansion du commerce intra et inter-régional entre les pays de la CEMAC et de l'UEMOA : Etude de l'offre et la demande sur des produits alimentaires, République du Bénin ; 189 p.
- Robertson, J. L., & Preisler, H. K., 1992:** Pesticide Bioassay with Arthropods. *In: Handbook of Pest Management in Agriculture*. Pimentel D., (Ed.), Chemical Rubber Company (CRC) Press, London, Boca Raton, 127 p.
- SAS Institute Inc. (2011):** The SAS for Windows, version 9.2; Cary, NC, SAS Institute Inc.
- Schenk, P., Indorf, A., et Fluri, P., 2001 :** Effet de l'huile de neem sur l'acarien varroa et sur les abeilles. *Revue Suisse d'Apiculture* 98 (3): 114- 119.
- Silvy, C., & Riba, G., 1999 :** Biopesticides contre maladies, insectes, mauvaises herbes. *Dossier de l'environnement*, 9 : 157-201.
- Singh, S. R., et Allen, D. J., 1979:** Les insectes nuisibles et les maladies du niébé, IITA Ibadan/Nigéria, 113 p.
- Sokame, B. M., Tounou, A. K., Datinon, B., Dannon, E. A., Agboton, C., Srinivasan, R., Pittendrigh, B. R., & Tamò, M., 2015 :** Combined activity of *Maruca vitrata* multi-nucleopolyhedrovirus, *MaviMNPV*, and oil from neem, *Azadirachta indica* Juss and *Jatropha curcas* L., for the control of cowpea pests. *Crop Protection*, 72:150–157.
- SPSS Inc. Released 2007:** SPSS for Windows, Version 16.0. Chicago, SPSS Inc.
- Tanada, Y., & Kaya, H. K., 1993:** Insect pathology. Singh S. R., Van Emden H. F. & Taylor T. A., (Ed.), Academic Press, London, United Kingdom, 666p.
- Toffa Mehinto, J., Atachi, P., Elégbédé, M., Douro Kpindou, O. K., & Tamò, M., 2014a :** Efficacité comparée des insecticides biologiques et chimiques dans la gestion des insectes ravageurs du niébé (*Vigna unguiculata*) au Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 84: 7674-7681.
- Toffa Mehinto, J., Atachi, P., Douro Kpindou, O. K., and Tamò, M., 2014b:** Pathogenicity of entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* on larvae of the legume podborer *Maruca vitrata* (Lepidoptera:Crambidae). *J. Agri. and Biol. Science*. 9: 55-64.
- Toffa Mehinto, J., Atachi, P., Douro Kpindou, O. K., Dannon, E. A., Tamò, M., 2014c:** Mortality of *Maruca vitrata* (Lepidoptera: Crambidae) larval stages induced by different doses of the entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana*. *Inter. J. Advanced Res.* 4: 273-285.
- Toffa, J., 2004 :** Efficacité au champ des spores de champignons entomopathogènes, *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin et *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin dans le contrôle de *Clavigrallatomentosicollis* (Stål) (Hétéroptère:Coreidae), punaise suceuse de gousses de niébé, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Mémoire d'étude pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur des Travaux en Aménagement et Protection de l'Environnement, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 82p.
- Toffa, J., 2008 :** Etude de la virulence des entomopathogènes *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin et *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin sur les chenilles défoliatrices de l'amarante (*Amaranthus cruentus*) et de la grande morelle (*Solanum macrocarpon*). Mémoire de fin de formation pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées (DESS) en Sciences de l'Environnement pour le Développement Durable, Centre Interfacultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour le Développement Durable, Université d'Abomey Calavi, Bénin, 92 p.
- Trang, T. K., et Chaudhari, S., 2002:** Bioassay of nuclear polyhedrosis virus (npv) and in combination with insecticide on *Spodoptera litura* (Fab). *Omonrice* 10: 45-53.
- Valda, C. A. S., Reginaldo B., Edmilson, J. M. & Jorge, B.T., 2003:** Susceptibility of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) to the Fungi *Beauveria bassiana* (Bals) Vuil. and *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorok. *Neotropical Entomology*, 32: 653-658.
- Van Lenteren, J. C., Bale, J., Bigler, F., Hokkanen, H. M. T., Loomans, A. J. M., 2006:** Assessing risks of releasing exotic biological control agents of arthropod pests. *Annual Review of Entomology* 51: 609-634.
- Vartak, V. D. et Ghate, V., 1990:** Ethnobotany of neem *Biol. Ind*, 1, 55-59.
- Vega, F. E., Jackson, M. A., Mercadier, G., & Poprawski, T. J., 2003:** The impact of nutrition on spore yields for various fungal entomopathogens in liquid culture. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 19:363-368.
- Ziani, J., 2008:** Application de *Beauveria bassiana* contre la punaise terne *Lygus lineolaris* (Palisot de Beauvois) (Hemiptera Miridae) : dans les vignobles. Mémoire de Maîtrise en Biologie. Université du Québec, Montréal, Canada, 101p.

# Analyse comparative des performances économiques des systèmes de production du maïs dans la commune de Banikoara au Nord-Bénin

Pamphile Degla<sup>1\*</sup>, Pesquidoux Daanon<sup>1</sup>, Alexis Onzo<sup>2</sup>, Eunice Tomavo<sup>1</sup>

## Résumé

Du fait de son importance pour la sécurité alimentaire et la création de richesse, le maïs est une culture stratégique pour les populations rurales au Nord-Bénin. Ainsi la présente étude s'intéresse à l'analyse économique comparative des deux principaux systèmes de culture (Maïs-Maïs et Coton-Maïs) de cette spéculation. Basée sur un échantillon aléatoire de 140 producteurs choisis au Nord-Bénin et utilisant la théorie économique de production, ainsi que divers outils d'analyse tels le modèle de fonction de production Cobb-Douglas, la régression-linéaire-multiple, et différents indicateurs économiques, l'étude révèle que le système Maïs-Maïs est plus performant que le système Coton-Maïs, bien que l'utilisation des ressources ne soit optimale dans aucun des systèmes. A l'influence significative de la quantité d'engrais sur le niveau de production de chacun des systèmes s'ajoute celle de la superficie cultivée pour le système Coton-Maïs. Toute action de politique agricole tenant compte de ces facteurs contribuera à améliorer la production du maïs dans la zone d'étude

**Mots-clés :** Maïs, Système de culture, Efficacité, Déterminants de la production, Bénin

## Abstract

### Comparative economic analysis of maize production systems in the municipality of Banikoara in the Northern Benin

Due to its importance for food security and cash income realization, maize is a strategic crop for rural populations in the northern Benin. Therefore, this current study is focused on the comparative economic analysis of the two major systems (Maize-Maize and Cotton-Maize) of this crop. Based on a sample of 140 farmers randomly selected in the municipality of Banikoara in Northern Benin, and using the decision-making economic approach and many analysis tools such as the linear multiple regression and diverse economic performance indexes, the study showed that the Maize-Maize system is more profitable than the Cotton-Maize system, although the use of the available resources was not optimal in any of the two cropping systems. Whereas the cultivated area and the quantity of fertilizer are the main drivers of the production level in the cotton-maize system, only the quantity of fertilizer had a significant and positive influence on the production in the maize-maize system. Integrating the results of this study into any agricultural policy in Benin could contribute to improve the maize production in the profit of the rural populations.

**Keywords:** Maize, Cropping systems, Efficiency, Drivers of maize production, Benin

<sup>1</sup>Département d'Economie et Sociologie Rurales, Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, BP 123 Parakou, Bénin

<sup>2</sup>Département de la Production Végétale, Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, BP 123 Parakou, Bénin

\*Auteur correspondant : Tél. : ++ 229 97382203

Pamphile Degla<sup>1\*</sup>, ([pamphile.degla@yahoo.fr](mailto:pamphile.degla@yahoo.fr))

Pesquidoux Daanon<sup>1</sup>, ([pesquidouxdaanon29@gmail.com](mailto:pesquidouxdaanon29@gmail.com))

Alexis Onzo<sup>2</sup>, ([onzalex@yahoo.com](mailto:onzalex@yahoo.com))

Eunice Tomavo<sup>1</sup>, ([marleinetomavo@yahoo.fr](mailto:marleinetomavo@yahoo.fr))

## 1. Introduction

Du fait de son rôle dans la création d'emploi et de revenu, l'agriculture reste au Bénin le secteur d'activité économique le plus important pour la majorité de la population (PAM 2008 ; World Bank 2013). Dominée par la production du coton, cette agriculture peine cependant à jouer pleinement son rôle de levier de développement à cause de l'instabilité qu'a connu le secteur cotonnier des années durant (MAEP 2008). Ainsi, prenant conscience des risques afférents à cette dépendance de l'agriculture vis-à-vis du secteur cotonnier, l'Etat béninois a identifié d'autres filières agricoles porteuses sur lesquelles pourrait s'appuyer sa politique de développement agricole. Au nombre des treize filières retenues se trouve le maïs qui est une culture répandue dans toutes les régions du pays à cause de sa grande facilité d'adaptation et de son importance pour la consommation (Adifon 2009). Comme source d'alimentation de base de la population, le maïs est également une culture de rente puisque même dans un objectif de production de subsistance, une partie non négligeable de la production est toujours destinée au marché afin d'acquérir les revenus monétaires nécessaires à la survie du ménage. Elle est donc une culture

stratégique dans le dispositif de sécurité alimentaire et dans la création de revenus des populations rurales. Les superficies consacrées annuellement au maïs sont par conséquent importantes et sont de l'ordre de 74% des superficies totales cultivées en céréales soit l'équivalent de 75% de la production céréalière (MAEP 2010). Si au cours des dix dernières années la production annuelle est estimée à 1 200 000 T, celle-ci cache cependant une forte disparité régionale tant du point de vue du niveau de production que de l'utilisation des systèmes de culture. Pendant que des rendements moyens très faibles (500-700 kg/ha) sont observés au Sud-Bénin (Adifon 2009), le nord du pays enregistre par contre des rendements moyens relativement élevés d'environ 1 200 kg/ha (Adegbola *et al.* 2011). Intervenant au Sud-Bénin le plus souvent en association avec d'autres céréales, des légumineuses ou des tubercules dans des exploitations de petites tailles où la pratique de la fertilisation minérale est presque inexistante, le maïs apparaît au Nord-Bénin soit en culture pure, soit en rotation avec le coton sur des superficies relativement grandes et où la production est presque intensive.

De façon générale, les pratiques culturales basées sur la rotation sont connues comme offrant un meilleur avantage com-

paratif sur le plan agronomique en termes d'amélioration de la fertilité du sol (Dendoncker et al., 2004 ; Leteinturier et al., 2007), de réduction des agents pathogènes et adventices (Gerowitt, 2003), de limitation des risques d'érosion (Leteinturier, 2007), d'amélioration de la structure du sol (Hamza et Anderson, 2005) et de maintien d'une bonne diversité écologique (Habib, 2003). Par contre, le système de monoculture favorise sur plusieurs années la dégradation du sol, les risques d'érosion, accroît le développement parasitaire des plantes et s'inscrit très peu dans une logique de biodiversité ou de production intégrée (Boller et al. 1997 ; Albrecht 2003 ; Hamza & Anderson 2005). Si les avantages tant agronomiques qu'agro-environnementaux de la rotation culturale qui sont des notions connues et acceptées dans le monde agricole (Leteinturier et al., 2007) comme aussi au Nord du Bénin où les conditions locales sont d'ailleurs favorables à la pratique de la rotation, donc du système de culture Maïs-Coton, comment expliquer alors la persistance du système de monoculture Maïs-Maïs ? Très probablement, la performance économique de ce système pourrait être un élément déterminant dans le choix des producteurs. Malheureusement, aucune étude n'a été jusqu'ici consacrée à l'analyse de la performance de chacun de ces deux principaux systèmes de culture encore moins à leur comparaison dans la zone d'étude. Parmi les études disponibles, les unes abordent l'analyse des déterminants de la faible productivité du maïs (Adifon, 2009), les autres la compétitivité du maïs local (Adegbola *et al.*, 2011) et l'offre du maïs pour l'amélioration de la sécurité alimentaire au Nord-Bénin (Yabi *et al.* (2013). D'autres auteurs tels que Kotobiodjo (2016) se sont consacrés à l'analyse des effets du mode d'accès à la terre sur la productivité du maïs. En s'intéressant à l'analyse comparative de la performance économique des deux principaux systèmes de production du maïs et aux facteurs déterminant cette performance, la présente étude vise à contribuer à une meilleure connaissance des systèmes de production de l'une des céréales la plus consommée au Bénin. Ce faisant elle fournira une base de données accessibles aux chercheurs, aux organisations non gouvernementales et aux décideurs politiques intéressés par les questions de promotion agricole et d'amélioration des conditions de vie en milieu rural.

## 2. Matériel et méthodes

### 1.1. Ancrage théorique

Dans un processus de production, le producteur est, selon le modèle néoclassique supposé avoir un comportement rationnel. Il cherche avant tout à optimiser sous la contrainte de coûts de production l'utilisation des ressources, donc à maximiser son profit. Dans le choix des outputs à produire, le producteur fait face à une palette d'options régie par la disponibilité des inputs. Il doit non seulement décider de quelle quantité d'un output donné produire, mais aussi comment les ressources rares pourraient être allouées aux diverses alternatives d'outputs. Il est supposé faire un choix rationnel lui permettant de maximiser son profit. Mais dans la réalité, bien que le producteur soit intéressé à maximiser son profit, il pourrait aussi bien viser d'autres objectifs, remettant ainsi en cause la thèse de la rationalité. En effet les buts et objectifs d'un producteur sont intimement liés à ses caractéristiques psychologiques et les objectifs choisis par un producteur donné peuvent avoir très peu à faire avec la maximisation de profit (Debertin 2012). Ainsi au lieu de rechercher le profit par l'adoption d'un système de production jugé plus performant, il peut choisir pratiquer un système juste pour limiter des risques de récolte ou pour assurer seulement sa sécurité alimentaire. Même en présence d'un prix élevé pour

un output donné, il peut décider, du fait de manque d'information et de l'existence d'incertitude, de produire un autre output offrant moins d'avantage comparatif (Adams 1986). Cette problématique du comportement des paysans est abordée dans la littérature économique par un certain nombre d'approches théoriques telle que l'approche substantiviste (Polanyi 1944 ; Dalton 1961) qui rejette l'hypothèse de rationalité et voit le comportement des ménages dicté par les coutumes et les institutions anciennes, l'approche structuraliste (De Janvry *et al.* 1991) considérant les ménages paysans comme rationnels mais confrontés à des défaillances du marché, et l'approche néo-institutionnelle qui permet d'analyser comment, et par quel mécanisme les choix des paysans sont soumis à leur structure sociale (He Yong 1994).

A la lumière de ces connaissances théoriques et empiriques l'analyse économique des systèmes de production du maïs a été faite dans la commune de Banikoara au Nord-Bénin.

### 1.2. Approche d'estimation de la performance économique des exploitations agricoles

En économie agricole, la performance économique d'une exploitation agricole peut être analysée à partir de la fonction de production et de la rentabilité de la production au niveau de l'exploitation. Ainsi pendant que la fonction de production met en rapport l'output obtenu et les quantités d'inputs utilisés et peut permettre d'apprécier l'efficacité technique du producteur, la rentabilité permet de juger la rémunération du capital investi dans l'exploitation. Ce sont alors ces méthodes qui ont été utilisées dans la présente étude. En outre, dans le but de rendre plus complet l'analyse de la performance économique, les facteurs susceptibles d'influencer le niveau de cette performance atteint par les producteurs ont été mis en évidence à travers un modèle de régression linéaire multiple. Cette démarche qui est courante dans l'analyse économique des exploitations agricoles s'appuie sur les travaux de Yabi (2009), Yabi et al. (2009) Degla (2012a) et de Choukou et al. (2017).

#### 1.2.1. Rentabilité de la production

Dans l'hypothèse de maximisation du profit, le producteur combine les facteurs de producteurs de manière à atteindre le meilleur niveau d'efficacité qui selon la théorie économique néoclassique correspond au point d'équilibre entre les revenus marginaux (revenu issu de chaque unité supplémentaire de produit obtenu) et les coûts marginaux (coût de la dernière unité d'input utilisé). Ainsi définis, ces aspects technico-économiques de la maximisation de profit expriment la performance économique de l'exploitation agricole comme une entreprise d'affaire (Ellis, 1993). Le profit ou la rentabilité est alors perçu comme un indicateur de la performance économique d'une exploitation agricole ou d'une quelconque entreprise. Pour estimer cette rentabilité, c'est-à-dire celle d'un système de production par exemple, il existe dans la littérature plusieurs méthodes d'évaluation telles la Matrice d'Analyse des Politiques ou MAP (Houndékon, 1996 ; Ibro et al., 2001 ; Fanou, 2008), la méthode basée sur le bilan ou celle utilisant le compte de résultat ou compte d'exploitation (Mensah, 2006 ; Yegbemey, 2009 ; Biaou, 2010 ; Degla, 2012b).

Compte tenu de la simplicité de la méthode basée sur le compte d'exploitation c'est cette dernière qui a été retenue pour la présente étude. Il s'agit d'un document comptable synthétisant l'ensemble des charges et des produits d'une exploitation agri-

cole pour une période donnée appelée exercice comptable. De ce tableau se dégagent les différents indicateurs ou éléments permettant d'estimer la rentabilité de l'exploitation. Le résultat net d'exercice ou marge nette (MN) est un de ces principaux indicateurs. En économie rurale, on associe généralement à cet indicateur de base d'autres indicateurs pour affiner l'analyse de la rentabilité, lesquels sont la productivité moyenne de la Main d'Œuvre Familiale (PLM), le Ratio Bénéfice Coût (RBC) et le Taux de Rentabilité Interne (TRI) (Yegbemey 2009 ; Degla, 2012b). Chacun de ces indicateurs et leurs conditions d'acceptation sont consignées dans le tableau 1.

**Tableau 1 :** Indicateurs de rentabilité et d'efficacité

**1.2.2. Fonction de production**

Indicateurs	Formules	Description	Conditions d'acceptation
Marge Nette (MN)	$MN = PBV - CT$	PBV = Produit brut en valeur (F CFA/ha) CT = Coût Total (F CFA/ha)	$MN > 0$
Taux de Rentabilité Interne (TRI)	$TRI = \frac{MN - VMOF}{CT + VMOF}$	VMOF = Valeur de la main d'œuvre familiale (F CFA/ha)	$TRI > i$ $i = \text{taux d'intérêt dans la zone d'étude}$
Ratio Bénéfice Coût (RBC)	$RBC = \frac{PBV}{CT}$	PBV = Produit brut en valeur (F CFA/ha) CT = Coût Total (F CFA/ha)	$RBC > 1$
Productivité Moyenne de la Main d'œuvre (PML)	$PML = \frac{MN}{MOF}$	MN = Marge nette (FCFA/ha) MOF = Main d'œuvre familiale en Homme-Jours /ha	$PML > w$ $w = \text{taux de salaire agricole dans la zone d'étude}$
Indice d'efficacité (r)	$r = \frac{VmP}{CmI}$	VmP = Valeur marginale du produit CmI = Coût marginal de l'input	$r = 1$ efficacité Si $r > 1$ les ressources sont surexploitées Si $r < 1$ les ressources sont sous-utilisées

Parmi les nombreuses formes de fonction de production qu'offre la littérature économique, la spécification de Cobb-Douglas reste la forme la plus utilisée (Coelli et al., 2001 ; Stadelman, 2005), notamment dans le secteur agricole (cf. Wolff 1997 ; Romer 2001 ; Tewodros, 2001 ; Yabi, 2009 ; Onuk et al. 2010 ; Degla, 2012b) à cause de sa simplicité, sa précision et sa fiabilité. Outre, les élasticités que le modèle de Cobb-Douglas donne directement il permet selon Wolff (1997) de pallier tant soit peu aux problèmes liés à l'hétéroscédacité. En suivant ces auteurs le modèle de Cobb-Douglas qui est aussi le plus pertinent pour cette étude a été retenu. Dans sa forme générale, la fonction de Cobb-Douglas se présente comme suit :

$$y = c \cdot \prod_i x_i^{a_i} \text{ où } c, a_i > 0 \tag{1}$$

Avec  $x_i$  correspondant aux facteurs de production, (travail et capital par ex.),  $a_i$  les coefficients. Dans sa forme linéarisée, la fonction est la suivante :

$$\ln(y) = \ln(c) + \sum_i a_i \cdot \ln(x_i) \tag{2}$$

Sur la base des principaux facteurs de production utilisés dans la production du maïs dans la zone d'étude (cf. Tab. 2) et en s'appuyant sur l'approche méthodologique de Audibert (1977), Bravo-Ureta & Pinheiro (1977), et Tewodros (2001) qui considère la terre comme une variable explicative, le modèle empirique de la fonction Cobb-Douglas a été spécifié comme suit :

$$\ln(QMais_i) = \beta_0 + \beta_1 \ln(SUP_i) + \beta_2 \ln(SEM_i) + \beta_3 \ln(ENG_i) + \beta_4 \ln(PEST_i) + \beta_5 \ln(CAP_i) + \beta_6 \ln(MOF_i) + u_i \tag{3}$$

avec  $\beta_i$ , les coefficients à estimer,  $u_i$  les termes d'erreur

**Tableau 2 :** Variables introduites dans le modèle de fonction de production

Variables	Codes	Unités
Quantité de maïs	(Ln(QMais	Kg
Superficie cultivée	(Ln(SUP	ha
Quantité de semences	(Ln(SEM	Kg
Quantité d'engrais	(Ln(ENG	Kg
Quantité de pesticide	(Ln(PEST	Litre
Quantité de capital	(Ln(CAP	F CFA
Quantité de main d'œuvre familiale	(Ln(MOF	Homme-jours ((H-jours

A partir des élasticités partielles des différents inputs et leurs productivités moyennes, les productivités marginales des inputs utilisés ont été déduites. Après estimation des coûts marginaux des différents inputs et en s'appuyant sur l'approche méthodologique de Onuk et al. (2010) reposant sur le principe économique que l'efficacité est atteinte au point où la valeur marginale du produit est égale au coût marginal de l'input, un indice permettant d'apprécier l'efficacité des producteurs dans l'utilisation des ressources engagées dans la production du maïs dans la zone d'étude a été estimé. Les conditions d'acceptation de cet indice sont mentionnées dans le tableau 1.

**1.3. Facteurs affectant le niveau de performance économique des producteurs**

En supposant que le niveau de revenu réalisé par les producteurs du maïs est fonction d'un certain nombre de facteurs liés aussi bien à l'exploitation qu'aux caractéristiques socioéconomiques des producteurs (l'âge, le sexe, le niveau d'éducation etc.) et dont le choix repose sur une revue de littérature et des observations personnelles faites sur le terrain, on peut exprimer mathématiquement cette relation comme suit :

$$\bar{Y} = E(Y|X_1, \dots, X_p) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p = \beta_0 + \sum_{k=1}^m \beta_k X_{ki} + \sum_{k=(m+1)}^{l=p} \beta_k X_{ki} + \mu_i \tag{4}$$

Où  $\bar{Y}$  est le revenu total moyen ;  $K=1, 2, \dots, m, m+1, \dots, p$  et  $X_{1p}, X_{2p}, \dots, X_{mp}$  les variables quantitatives;  $X_{(m+1)p}, X_{(m+2)p}, \dots, X_{lp}$  les variables qualitatives relatives aux producteurs;  $\beta_k$ , les paramètres à estimer; et  $\mu_i$  les termes d'erreur.

Après l'introduction des variables explicatives (cf. Tab. 3) et l'application du logarithme népérien on obtient le modèle empirique suivant :

$$\ln(\bar{Y}_i) = \beta_0 + \beta_1 \ln(Farmsize_i) + \beta_2 \ln(Activmembers_i) + \beta_3 \ln(Age_i) + \beta_4 \ln(Exper_i) + \beta_5 (Sexe_i) + \beta_6 (Educationlev_i) + \beta_7 (Farmorganization) + \beta_8 (MOSalarie_i) + \beta_9 (ContactT_i) + \beta_{10} (Systemepro_i) + \beta_{11} (Modevente_i) + \mu_i$$

Où,  $\mu_i$  indique les termes d'erreur, supposés être normalement distribués  $N(0, \sigma)$ ; et  $\beta_i$  les paramètres à estimer. Les  $\beta_1$  à  $\beta_4$  donnent directement les élasticités partielles du revenu moyen pour les variables quantitatives et les  $\beta_5$  à  $\beta_{11}$  indiquant les variations en pourcentage du niveau de revenu lorsqu'une variable explicative qualitative varie d'une modalité à une autre. Selon Gujarati (2004), cette variation correspond à  $(e^{a_i} - 1) * 100$ . Ainsi pour une variable explicative qualitative X, son modèle équation étant  $\ln Y_i = \alpha_0 + \alpha_1 X_i$ , quand X varie de 0 à 1,  $Y_i$  varie de 1 à  $e^{\alpha_1}$ , et la variation en pourcentage de  $Y_i$  est donnée par  $(e^{\alpha_1} - 1) * 100$ .

**Tableau 3 : Variables introduites dans le modèle de régression linéaire**

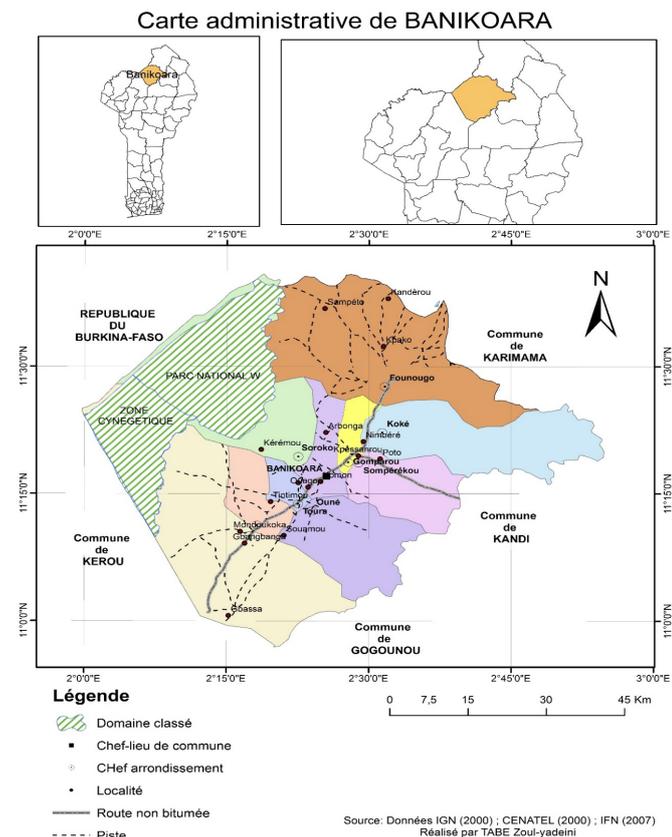
Variables qualitatives	Types	Modalités	Signes attendus
Sexe	D	0 = Masculin ; 1= Féminin	±
Education	D	0 = Oui ; 1= Non	+
Appartenance à un groupement	D	0 = Oui ; 1= Non	+
Contact avec un encadreur	D	0 = Oui ; 1= Non	+
Utilisation de la main d'œuvre salariée	D	0 = Oui ; 1= Non	+
Système de production	D	0 = Oui ; 1= Non	+
Mode de vente (vente échelonnée)	D	0 = Oui ; 1= Non	+/-
Age	C	-	±
Taille de l'exploitation	C	-	+
Taille du ménage	C	-	+
Nombre d'année d'expérience	C	-	+

D = variables discontinues ; C = variables continues

**1.4. Zone d'étude et échantillonnage**

L'étude a été réalisée dans la commune de Banikoara, située au Nord-Ouest du Bénin entre les 10°50' et 11°45' de latitude Nord et 2°0' et 2°55' de longitude Est (cf. figure 1). Cette commune qui couvre une superficie de 438 300 km<sup>2</sup>, est essentiellement agricole et connue comme l'une des régions de très forte production de coton et de céréales au Bénin. Le climat qui y règne est de type sahélo-soudanien caractérisé par l'alternance d'une saison pluvieuse de mai à octobre et d'une saison sèche de novembre à avril, que les perturbations climatiques récentes tendent à décaler. La pluviométrie moyenne se situe entre 800 et 1 200 m. Les sols sont généralement de types ferrugineux tropicaux, très propices à la culture cotonnière, ce qui situe la Commune de Banikoara dans la zone agroécologique du bassin cotonnier du Nord-Bénin.

Pour l'étude, quatre villages ont été sélectionnés du fait de leur importance dans la production du maïs et du coton. Les unités de recherche sont des producteurs individuels, choisis de façon aléatoire à partir d'une liste de producteurs établie par le service de vulgarisation. Ainsi un total de 140 producteurs a été sélectionné dont 100 pratiquant le système coton-maïs et 40 s'adonnant au système maïs-maïs qui reste un système de moins en moins utilisé.



**Figure 1:** Carte du milieu d'étude

**2. Résultats**

**2.1. Caractéristiques socioéconomiques des producteurs**

D'un âge moyen de 41±13 ans, la majorité des producteurs de l'échantillon (95%) sont de sexe masculin et mariée (93%). Cette tendance s'observe également aussi bien chez les producteurs s'adonnant au système de culture Maïs-Maïs que ceux du système Coton-Maïs. Avec l'ensemble des producteurs, le nombre moyen des actifs des ménages est de 6 ±4 actifs et la taille moyenne des exploitations est de 13,38 ±12,53 ha. Si pour l'ensemble des producteurs, la plupart (53%) sont sans une éducation formelle, on note cependant moins d'analphabètes (33%) dans le système Maïs-Maïs que dans le système Coton-Maïs (61%). Pour l'ensemble, l'appartenance à un groupement s'observe chez la majorité des producteurs (84%). Toutefois dans le système Maïs-Maïs les producteurs appartenant à un groupement ne représentent que 48% contre 98% chez leurs homologues du système Coton-Maïs. L'encadrement technique régulier ne touche qu'une minorité de producteurs (11%) aussi bien dans leur ensemble que dans chacun des systèmes de production. L'utilisation de la main d'œuvre familiale qui est prépondérante chez la plupart des producteurs (69%), s'observe également dans chacun des deux systèmes. Pratiquée par la majorité des producteurs (58%) dans leur ensemble, la vente échelonnée du maïs n'est utilisée que chez 38% des producteurs du système Maïs-Maïs contre 66% dans le système Coton-Maïs.

**2.2. Description des systèmes de culture de maïs**

Les systèmes de culture de maïs les plus répandus dans la zone d'étude sont les systèmes Maïs-Maïs et Coton-Maïs, avec une dominance du système Coton-Maïs. Dans le système Maïs-Maïs le maïs intervient successivement sur la même parcelle durant plusieurs saisons culturales alors que dans le système Coton-Maïs il y a une alternance de cultures au cours de laquelle le maïs succède après chaque saison au coton. La taille moyenne des exploitations des producteurs s'adonnant au système Coton-Maïs est de 16,65 ±13,32 ha contre 5 ±3,68 ha pour le système Maïs-Maïs. En moyenne 1,14 ± 0,362 ha de terres ont été consacrées à la culture du maïs dans le système Maïs-Maïs contre 5,60 ±5,28 ha dans le système Coton-Maïs. Les résultats montrent également qu'en moyenne 272,68 ±102,23 kg/ha d'engrais, 37,84 ±13,204 kg/ha de semences et 4,19 ±1,425 litres/ha de pesticide ont été utilisés pour la production du maïs dans le système Maïs-Maïs contre 153,90 ±107,54 kg/ha, 22,32 ±5,99 kg/ha et 1,65 ±0,91 litres/ha respectivement pour l'engrais, les semences et les pesticides dans le système Coton-Maïs. Le rendement moyen obtenu dans le système Maïs-Maïs est de 2 018 ±770 kg/ha contre 1 385 ±680,42 kg/ha. Les coûts variables engagés ont été de 89 803 ±28 125 FCFA/ha dans le système Maïs-Maïs contre 49 593 ±29 183 FCFA/ha dans le système Coton-Maïs (cf. Tab. 4).

**Tableau 4: Caractéristiques distinctives des deux principaux systèmes de culture de maïs**

Caractéristiques	Maïs-Maïs		Coton-Maïs		Ensemble	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
Taille de l'exploitation (ha)	5	3,68	16,65	13,32	13,38	12,53
Superficie cultivée	1,14	0,362	5,60	5,28	4,33	4,90
Quantité Engrais kg/ha	272,68	102,226	153,90	107,54	187,84	118,61
Quantité semences kg/ha	37,84	13,204	22,32	5,99	26,76	11,14
Quantité pesticide L/ha	4,19	1,425	1,65	0,91	2,380	1,576
Rendement kg/ha	2 018	7,70	1 385	6 80,42	15,66	7,61
Coût variable FCFA/ha	89 803	28 125	49 593	29 183	61 082	34 071

### 2.3. Analyse de la fonction de production du maïs

La modélisation de la production du maïs précédemment décrite montre que pour l'ensemble des producteurs sélectionnés seule la superficie cultivée et la quantité d'engrais utilisée ont une influence significative sur le niveau de production du maïs. Cette tendance se confirme au niveau de chacun des systèmes de culture avec cependant la différence qu'au niveau du système Maïs-Maïs seule la quantité d'engrais influence positivement et significativement le niveau de production (cf. Tab. 5).

**Tableau 5 : Résultats de l'analyse de la fonction de production par système de culture**

Variables explicatives	Système Maïs-Maïs				Système Coton-Maïs			
	Coef	Erreur Standard	t	p-value	Coef	Erreur Standard	t	p-value
Superficie cultivée (Ln)	0,33	0,22	1,49	0,15	0,72	0,14	5,12	0,000***
Main d'œuvre (Ln)	0,08	0,09	0,85	0,40	-0,10	0,08	-1,18	0,24
Pesticide (Ln)	-0,03	0,19	-0,16	0,88	-0,14	0,09	-1,58	0,12
Engrais (Ln)	0,58	0,15	3,96	0,000***	0,42	0,09	4,81	0,000***
Semence (Ln)	-0,21	0,16	-1,30	0,20	0,12	0,16	0,78	0,44
Capital (Ln)	0,00	0,07	-0,04	0,97	0,01	0,05	0,25	0,81
Constance	4,91	1,20	4,08	0,000***	4,86	0,74	6,58	0,000***
<b>Résumé du modèle</b>	<b>Système Maïs-Maïs</b>				<b>Système Coton-Maïs</b>			
	R <sup>2</sup> = 0,51; F(6 ;33) = 5,67; p-value = 0,000				R <sup>2</sup> = 0,75; F(6 ;93) = 48,35; p-value = 0,000			
	Test de normalité (chi-2 (2) = 0,85; p-value = 0,65)				Test de normalité (Chi-2 (2) = 1,20; p-value = 0,55)			
	Test de Ramsey Reset: F(3 ;30) = 1,19; p-value = 0,33				Test de Ramsey Reset: F(3 ;90) = 0,91; p-value = 0,44			
Test d'homoscédasticité: chi-2(1) = 0,89; p-value 0,34				Test d'homoscédasticité: Chi-2(1) = 0,19; p-value = 0,66				

### 2.4. Performances économiques des différents systèmes de culture du maïs

Dans le système Maïs-Maïs, la production du maïs a généré en moyenne un coût de production de 102 974 ±30 141 FCFA/ ha contre 53 816 ±53 816 FCFA/ ha dans le système Coton-Maïs. La marge nette moyenne est de 174 476 ±113 917 FCFA/ha pour le système Maïs-Maïs et 155 107 ±108 774 FCFA/ha pour le système Coton-Maïs. Les autres indicateurs révèlent que dans le système Maïs-Maïs, le ratio bénéfice coût (RBC) et le taux de rentabilité interne (TRI) sont avec respectivement 2,60 ±1,44 et 1,74±1,28 relativement plus élevés que dans le système Coton-Maïs avec des valeurs respectives de 1,09 ±0,64 et 0,83±0,59. Suivant la même tendance, la productivité moyenne de la main d'œuvre familiale (PLM) est avec une moyenne de 6 341 ±5 472 FCFA/ha plus élevée dans le système Maïs-Maïs que dans le système Coton-Maïs (3 314 ±3 064 FCFA/ha).

Par rapport à l'efficacité, l'utilisation des ressources n'est optimale dans aucun des deux systèmes de culture (cf. Tab. 6).

**Tableau 6 : Indices d'efficacité des producteurs**

Système	Paramètres	Terre	Main d'œuvre	Engrais	Semence	Pesticide	Capital
Système Maïs-Maïs	VmP	114 920	2 122	443	736	16 184	0,35
	CmI	200 000	1 500	280	600	8 000	0,12
	<b>Ratio</b>	<b>0,575</b>	<b>1,414</b>	<b>1,582</b>	<b>1,226</b>	<b>2,023</b>	<b>2,916</b>
Système Coton-Maïs	VmP	159 497	508	333	2 471	6 582	1,08
	CmI	200 000	1500	280	600	8 000	0,12
	<b>Ratio</b>	<b>0,797</b>	<b>0,338</b>	<b>1,189</b>	<b>4,118</b>	<b>0,822</b>	<b>9</b>
Ensemble	VmP	164 447	1 681	390	1 753	17 788	1,16
	CmI	200 000	1 500	280	600	8 000	0,12
	<b>Ratio</b>	<b>0,822</b>	<b>1,120</b>	<b>1,392</b>	<b>2,921</b>	<b>2,223</b>	<b>9,666</b>

### 2.5. Analyse des déterminants du niveau de revenu

L'analyse des déterminants du revenu des producteurs pour l'ensemble des systèmes de culture montre que seuls le sexe, l'âge des producteurs, la taille de leur exploitation, l'utilisation de la main à dominance salariée, le système de culture adopté et le mode de vente de la récolte exercent une influence significative sur le niveau de revenu réalisé par les producteurs (cf. Tab.7). Pendant que cette influence est significative au seuil de 1% pour la taille de l'exploitation, elle ne l'est qu'au seuil de 5% pour le sexe, la main d'œuvre à dominance salariée, le système de culture et le mode de vente de la récolte, et au seuil de 10% pour l'âge.

**Tableau 7 : Déterminants du niveau de revenu pour l'ensemble des systèmes de culture**

	Ensemble des systèmes de culture			
	Coef	Erreur Standard	t	p-value
Sexe	0,53**	0,25	-2,13	0,04
Age	0,64*	0,32	2,01	0,05
Education	0,12	0,14	0,81	0,42
Nombre d'actifs	-0,25	0,17	-1,51	0,13
Taille exploitation	0,74***	0,13	5,67	0,000
Expérience avec intrants	-0,23	0,16	-1,51	0,13
Appartenance Groupement	-0,20	0,24	-0,84	0,40
Contact Encadreur	0,06	0,26	0,23	0,82
Type main d'œuvre	0,39**	0,18	2,13	0,04
Système de production	-0,49**	0,24	-2,05	0,04
Mode de vente	0,36**	0,15	2,43	0,02
Constante	10,21***	0,96	10,60	0,000
Résumé du modèle	R <sup>2</sup> = 0,50; F(11 ;128) = 15,32; p-value = 0,000 Test d'homoscédasticité: Chi-2(1) = 1,63; p-value = 0,20 Test de variance d'Eicker et White: p-value = 0,000 Test de Ramset Reset: F(3 ;86) = 1,15; p-value = 0,33			

\*\*\* = significatif à 1% ; \*\* = significatif à 5% ; \* = significatif à 10%

Lorsqu'on s'intéresse à chacun des systèmes de culture séparément, les résultats montrent que dans le système Maïs-Maïs, seul le contact régulier avec l'encadreur influence significativement le niveau de revenu au seuil de 1% pendant que l'appartenance à un groupement et le type de main d'œuvre ne l'influencent qu'au seuil de 10%. Dans le système Coton-Maïs la taille de l'exploitation influence significativement le niveau de revenu au seuil de 1%, pendant que l'âge du producteur, le nombre d'année d'expérience dans l'utilisation des intrants, le type de main d'œuvre et le mode de vente ne l'influencent qu'au seuil de 5%, le sexe du producteur, et le nombre d'actifs de son ménage n'influencent significativement le niveau de revenu qu'au seuil de 10%.

### 3. Discussion

Le maïs reste dans la zone d'étude une culture stratégique tant du point de vue de l'alimentation que de la création de revenu. En effet si au niveau de l'ensemble des producteurs une grande partie de la production (69%) est orientée vers la vente, une partie non négligeable (31%) est avant tout consacrée à l'autoconsommation. L'importance relative de l'autoconsommation varie cependant d'un système de culture à un autre, car pendant que la part autoconsommée ne représente que 29% dans le système Coton-Maïs, elle atteint près de 42% dans le système Maïs-Maïs, sûrement parce que c'est dans ce système aussi que la production moyenne est la plus élevée (2 018kg/ha contre 1 385 kg/ha). Du fait de la possibilité de conservation durable du maïs et des avantages qu'offre la vente

échelonnée, la plupart des producteurs enquêtés ont adopté le mode de vente échelonnée. Cette adoption peut cependant être attribuée aux efforts de promotion et d'appui consentis par un certain nombre de structures privées qui, dans la zone d'étude, œuvrent pour l'abandon du bradage des produits agricoles juste après la récolte, étant donné que le bradage est perçu comme un facteur d'appauvrissement des paysans. La taille relativement faible des superficies cultivées, et l'importance relative de la main d'œuvre familiale dans les deux systèmes de culture indiquent que la production du maïs dans la zone d'étude est de type familial. Ce qui appuie la description de ce type de production largement développé par CIRAD (2014), Toulmin & Guèye (2003) et Berti & Lebailly (2009) dans leurs œuvres respectives. Parmi les déterminants du niveau de production du maïs, on retrouve chez l'ensemble des producteurs, la superficie cultivée et la quantité d'engrais utilisée. Étant donné que dans notre modèle, les coefficients de ces variables représentent les élasticités partielles du niveau de production du maïs, nos résultats indiquent que lorsque l'on augmentera la superficie de 1% d'une part ou la quantité d'engrais dans la même proportion d'autre part, il résulterait, *ceteris paribus*, un accroissement de la production respectivement de 0,58% et de 0,42%. Toutefois un accroissement simultané de ces deux facteurs n'entraînera qu'un accroissement proportionnel de la production du maïs comme le confirme le test de Wald réalisé au seuil de 5% ( $F(1 ; 133) = 0,00 ; p = 0,98$ ). Au niveau du système de culture Coton-Maïs ce sont également les deux facteurs, superficie cultivée et engrais, qui influencent significativement le niveau de production, suggérant que tout accroissement de la superficie de 1% d'une part ou de l'engrais de 1% d'autre part conduirait, *ceteris paribus*, à une augmentation du maïs respectivement de 0,72% et de 0,42%. Malgré cette légère différence c'est l'hypothèse des rendements constants qui est aussi vérifiée comme le montre le test de Wald réalisé au seuil de 5% ( $F(1 ; 93) = 0,72 ; p = 0,40$ ). Ainsi une augmentation simultanée des deux facteurs, superficie et engrais, de 1% n'engendrera pas un accroissement plus que proportionnel de la production du maïs. Dans le système de culture Maïs-Maïs par contre, c'est seul l'engrais qui a une influence positive significative sur le niveau de production. Le résultat indique qu'une augmentation de la quantité d'engrais de 1% occasionnerait, *ceteris paribus*, une augmentation de la production du maïs de 0,58%. Il en ressort que l'hypothèse de rendements décroissants est vérifiée comme le confirme le test de Wald ( $F(1 ; 33) = 8,50 ; p = 0,00$ ). Ainsi l'augmentation résultant de l'accroissement de l'engrais de 1%, n'est que moins proportionnel. Ces effets positifs de la terre et particulièrement de l'engrais mis en évidence dans la présente étude corroborent les résultats obtenus par Onuk *et al.* (2010) et Oladejo & Adetunji (2012) dans leurs travaux sur la production du maïs au Nigeria et ceux de Yabi (2012) relatifs à la culture du riz au Nord du Bénin.

En ce qui concerne la performance économique de la production du maïs, les indicateurs de rentabilité utilisés indiquent que la production du maïs est rentable du point de vue de la marge nette, puisque celle-ci est positive aussi bien pour l'ensemble des producteurs qu'au niveau de chacun des deux systèmes de culture. Cependant il n'existe aucune différence significative entre les marges nettes lorsque passe du système de culture Maïs-Maïs (174 476 F CFA/ha) au système de culture Coton-Maïs (155 107 F CFA/ha) comme le montre le test de comparaison de moyennes ( $p = 0,349$ ). Ce résultat peut être dû au fait que malgré le rendement moyen plus élevé qu'offre le système de culture Maïs-Maïs, c'est également au niveau de ce

même système que le coût de production moyen est le plus élevé. Il ressort de ces résultats que la rentabilité de la production du maïs du point de vue de la marge nette est cependant une réalité confirmant les résultats précédents des travaux de Adégbola *et al.* (2011) sur la production du maïs au Nord-Bénin.

Par rapport au ratio-bénéfice-coût (RBC), la production du maïs est également rentable aussi bien pour l'ensemble des producteurs que pour ceux de chacun des deux systèmes de culture. Ceci indique que chaque Franc investi dans la production du maïs génère un revenu brut plus que proportionnel à un Franc. Mais comme le montre la différence de moyennes des RBC des deux systèmes ( $p = 0,000$ ), l'importance de la rentabilité est relativement plus marquée au niveau du système Maïs-Maïs que dans le système Coton-Maïs. Lorsqu'on s'intéresse au taux de rentabilité interne (TRI), les résultats montrent que la production du maïs est aussi rentable du point de vue de cet indicateur, car il est largement supérieur, aussi bien au niveau de l'ensemble des producteurs qu'au niveau des systèmes de culture, au taux d'intérêt de 12% en vigueur dans la zone d'étude. Ce résultat indique qu'à l'état actuel, le financement de la production du maïs par l'utilisation de crédit est rentable, car elle permet de dégager un niveau de revenu nécessaire pour assurer facilement le remboursement des intérêts liés au crédit. Du fait de la différence significative de moyennes de TRI ( $p = 0,000$ ) entre les deux systèmes, c'est cependant le système Maïs-Maïs qui est le plus rentable. Quant à la productivité moyenne du travail familial (PML), les résultats indiquent que la main d'œuvre familiale est bien rémunérée puisque la PLM est largement supérieure au taux de salaire moyen (1 500 F CFA/Homme-jour) pratiqué dans la zone d'étude. En comparant les deux systèmes de culture, les résultats montrent une différence significative de moyennes ( $p = 0,000$ ) entre la PLM du système Maïs-Maïs (6 341 FCFA/Homme-jour) et celle du système Coton-Maïs (3 314 F CFA/Homme-jour). Malgré cette différence, on peut déduire des résultats que quel que soit le système, les producteurs du maïs enquêtés ont intérêt à se consacrer au travail dans leur propre exploitation plutôt que d'aller vendre leur force de travail hors de leur exploitation dans la zone d'étude.

Lorsqu'on s'intéresse à l'efficacité des producteurs dans l'utilisation des ressources disponibles, les résultats montrent que l'efficacité parfaite n'a été atteinte dans aucun des systèmes de culture puisque dans l'un ou dans l'autre cas plusieurs ressources sont à la fois soit sous-exploitées, soit surexploitées. Ainsi, pendant que dans le système de culture Maïs-Maïs la terre est sous-exploitée, l'engrais, les pesticides et le capital surexploitées, ce sont la terre, la main d'œuvre et les pesticides qui sont sous-exploités, les semences et le capital surexploitées dans le système Coton-Maïs. Au niveau de l'ensemble des producteurs, ce sont les semences, les pesticides et le capital qui sont surexploitées et la terre sous-exploitée. Il ressort de ces résultats que la terre reste la ressource dont l'utilisation n'est optimale dans aucun des cas, suggérant que les producteurs doivent être formés afin d'optimiser l'exploitation de cette ressource et ce faisant améliorer leur production. Des cas similaires de sous-utilisation et de surexploitations des ressources allouées à la production du maïs au Nigeria ont été enregistrés par Onuk *et al.* (2010) dans leurs études. Au regard de tous ces résultats, il est à noter que le système Maïs-Maïs reste le système le plus performant des deux systèmes de culture pratiqués dans la zone d'étude. Ainsi la persistance du système Maïs-Maïs dans la zone d'étude pourrait être attribuée à l'avantage économique qu'offre ce système en termes de rentabilité du point de vue des

différents indicateurs utilisés.

Par rapport aux facteurs influençant le niveau de revenu des producteurs, il ressort de l'étude que pour l'ensemble des producteurs il y a la taille de l'exploitation (1%), le sexe, le type de main d'œuvre, le système de culture et le mode de vente qui sont significatifs chacun au seuil de 5%, et l'âge des producteurs à 10%. Lorsqu'on considère les deux systèmes de culture, ce sont le contact régulier avec un encadreur, l'appartenance à un groupement, et le type de main d'œuvre qui dans le système Maïs-Maïs ont une influence positive significative sur le niveau de revenu respectivement au seuil de 1%, 5% et de 10%. Dans le système Coton-Maïs ce sont par contre la taille de l'exploitation, significative au seuil de 1%, le sexe, l'âge des producteurs, le type de main d'œuvre, et le mode de vente avec une influence positive significative, respectivement au seuil de 5%, et le nombre d'années d'expérience dans l'utilisation des intrants chimiques avec une influence négative significative au seuil de 5%. L'analyse de ces résultats montrent qu'une augmentation de la taille de l'exploitation de 1% induirait, *ceteris paribus*, un accroissement du revenu de 0,74% et de 0,88% respectivement pour l'ensemble des producteurs et pour ceux du système Coton-Maïs. Quant à l'âge des producteurs, les résultats révèlent que plus les producteurs sont âgés, plus ils deviennent performants dans la réalisation du revenu issu de la production du maïs et ceci est valable aussi bien pour l'ensemble des producteurs que pour ceux du système Coton-Maïs en particulier. Cette influence de l'âge sur le niveau de revenu des producteurs concorde avec les résultats obtenus par Meraner *et al.* (2015) et Degla *et al.* (2016) dans leurs études respectives. Dans le même système Coton-Maïs il apparaît que lorsque la taille du ménage en termes de nombre d'actifs augmente, le niveau de revenu croît aussi, étant donné qu'il s'agit d'une agriculture de type familial où la main d'œuvre familiale joue un rôle prépondérant. Mais il faut cependant reconnaître que lorsque passe d'une exploitation basée prioritairement sur l'utilisation de la main d'œuvre familiale à celle utilisant prioritairement la main d'œuvre salariée, le revenu croît. En s'appuyant sur Gujarati (2004), cet accroissement est de l'ordre de 47,70% [=100\*(e<sup>+0,39</sup> - 1)] pour l'ensemble des producteurs et de 55,27% [=100\*(e<sup>+0,44</sup> - 1)] pour ceux du système Coton-Maïs. De la même façon lorsqu'on passe du mode de vente non échelonnée à celui de la vente échelonnée, le niveau de revenu est susceptible de croître de 109,59% [=100\*(e<sup>+0,74</sup> - 1)] chez l'ensemble des producteurs et de 141,09% [=100\*(e<sup>+0,88</sup> - 1)] chez les producteurs du système Coton-Maïs. Ce résultat met en évidence l'avantage comparatif de la vente échelonnée par rapport au bradage des récoltes. En effet, la vente échelonnée permet au producteur de jouir des prix de vente plus élevés au fur et à mesure qu'il s'éloigne de la période juste après la récolte (période d'abondance). Tout comme le système de culture chez l'ensemble des producteurs, l'expérience dans l'utilisation des intrants chimiques des producteurs du système Coton-Maïs exerce contre toute attente une influence négative significative sur le niveau de leur revenu. Ainsi lorsqu'on passe du système de culture Maïs-Maïs au système de culture Coton-Maïs, le revenu est susceptible de diminuer de 38,74% [=100\*(e<sup>-0,49</sup> - 1)] chez l'ensemble des producteurs. Fort de leur expérience dans l'utilisation des intrants surtout dans le système Coton-Maïs où ces inputs sont systématiquement appliqués pour la production du coton, la plupart des producteurs misent sûrement dans la rotation Coton-Maïs sur l'arrière-effet de ces intrants notamment l'engrais sur le maïs en négligeant les doses d'engrais requises pour le maïs, ce qui pourrait expliquer la différence de

rendement et par conséquent de revenu réalisé par ces producteurs par rapport à leurs homologues du système Maïs-Maïs.

Lorsqu'on considère le système Maïs-Maïs l'influence négative de l'appartenance à un groupement au seuil de 5% indique que lorsque dans ce système on passe des producteurs non membres d'un groupement villageois à ceux appartenant à un groupement, le revenu est susceptible de décroître de 57,68% [=100\*(e<sup>-0,86</sup> - 1)], sûrement parce que la plupart de ceux qui ont réalisé des revenus relativement élevés sont ceux qui bénéficient d'un encadrement régulier et qui de ce fait ne jugent plus de l'opportunité de s'affilier à une quelconque association paysanne. Et justement lorsque passe des producteurs n'ayant pas de contact régulier avec un encadreur à ceux bénéficiant d'un appui technique le revenu est susceptible de croître de 375,88% [=100\*(e<sup>+1,56</sup> - 1)]. Ce résultat qui met en évidence l'importance de l'appui technique dans la performance des producteurs renforce les observations faites par Demeke (2003), Meraner *et al.* (2015) et Degla *et al.* (2016) dans leurs études respectives. Dans une perspective d'amélioration des conditions de vie des populations de la zone d'étude, la prise en compte de ces différents résultats dans les programmes de vulgarisation contribuerait sans aucun doute à renforcer la capacité des producteurs à optimiser l'utilisation de leurs ressources et à mieux rentabiliser leur production.

#### 4. Conclusion

L'analyse des systèmes Maïs-Maïs et Coton-Maïs à travers la fonction de production de Cobb-Douglas révèle que la quantité d'engrais utilisée est le principal déterminant du niveau de production du système Maïs-Maïs pendant que dans le système Coton-Maïs la superficie cultivée et la quantité d'engrais utilisées s'avèrent comme étant les principaux facteurs dont dépend significativement le niveau de production. Mais pour l'ensemble des producteurs des deux systèmes, c'est seule la superficie cultivée qui est l'élément déterminant. En ce qui concerne la performance économique des producteurs, la production du maïs dans les deux systèmes est économiquement et financièrement rentable tant du point de vue de la marge nette, du ratio bénéfice coût, du taux de rentabilité interne que de la productivité moyenne de la main d'œuvre familiale. Mais en dehors de la marge nette, les différences de moyenne entre les autres indicateurs de performance économique des deux systèmes de culture sont significatives, donnant ainsi l'avantage comparatif au système de culture Maïs-Maïs. Cet avantage économique pourrait expliquer la persistance du système Maïs-Maïs dans la zone d'étude.

Dans l'utilisation des ressources disponibles, l'efficacité parfaite n'est observée dans aucun des systèmes. Le niveau de revenu réalisé par les producteurs du système Maïs-Maïs est influencé significativement par le contact régulier avec le service de vulgarisation, l'appartenance des producteurs à un groupement villageois et par le type de main d'œuvre utilisé dans la production. Quant au système Coton-Maïs, les principaux déterminants du niveau de revenu sont par contre le sexe, l'âge du producteur, le nombre d'actifs du ménage, la taille de l'exploitation, le nombre d'années d'expérience dans l'utilisation des intrants chimiques, le type de main d'œuvre et le mode de vente de la récolte. Toute politique agricole qui prendra en compte les facteurs influençant aussi bien le niveau de production que celui du revenu atteint et qui impliquerait aussi la formation des producteurs dans l'utilisation optimale des ressources disponibles permettra d'améliorer la production du maïs et ce faisant le niveau de vie des populations rurales au Nord-Bénin.

## 5. Références bibliographiques

- Adams J. (1986). Peasant rationality: Individuals, groups, cultures, *World Development*, vol. 14, Issue 2, February 1986, pp. 273-282, doi.org/10.1016/0305-750X(86)90059-8
- Adégbola P.Y., Aloukoutou A., Diallo B. (2011). Analyse de la compétitivité du maïs local au Bénin, PRESAO, Michigan State University, N° 1-2011-12
- Adifon S.F.F. (2009). Analyse des déterminants de la faible productivité du maïs à Agadjaligbo dans la commune de Zogbodomey, Mémoire de Licence professionnelle, Université d'Abomey-Calavi (UAC/Bénin)
- Albrecht H. (2003). Suitability of arable weeds as indicator organisms to evaluate species conservation effects of management in agricultural ecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 98, p. 201-211
- Audibert M. (1997). Technical inefficiency effects among paddy farmers in the villages of the office du Niger, Mali, West Africa. In: *Journal of Productivity Analysis* 8: 379-394.
- Berti F., Lebailly P. (2009). L'agriculture familiale africaine au cœur des Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD), Unité d'Economie et Développement rural, Gembloux Agro-Bio Tech – Université de Liège
- Biaou B.A. (2010). Analyse de la rentabilité économique et financière de la production du soja dans les communes de Savè et de Ouèssè, Thèse d'Ingénieur Agronome, FA/UP, Parakou, Bénin 85 p.
- Boller EF., Malavolta C., Jörg E. (1997). Guidelines for integrated production of arable crops in Europe. IOBC, Technical Guideline III. *Bull. OILB srop* 20 (5), p. 5-19.
- Bravo-Ureta B.E., Pinheiro A.E. (1997). Technical, economic and allocative efficiency in peasant farming: evidence from Dominican Republic. In: *The Developing Economics XXXV-1* (March 1997): 48-67.
- Choukou M.M., Zannou A., Biaou G., Ahohuendo B. (2017). Analyse de l'efficacité économique d'allocation des ressources dans la production du maïs au Kanem-Tchad. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* (2017) 5 (2):200-209
- CIRAD (2014) Agriculture familiale. Valorisation et Innovation en Partenariat. (VIP) Février 2014#25, 2014, [www.cirad.fr/innovation-expertise](http://www.cirad.fr/innovation-expertise), (18.02.2019).
- Coelli T., Prasada Rao D.S., and Battese G.E. (2001). An introduction to efficiency and productivity analysis. Kluwer Academic Publishers, Boston, USA.
- Dalton G. (1961). Economic theory and Primitive Society, *American Anthropologist*, Vol. 63, Issue 1, February 1961, p. 1-25, DOI: 10.1525/aa.1961.63.1.02a00010
- Debertin D.L. (2012). *Agricultural Production Economics*, 2nd Ed., (pp.413) Macmillan Publishing Company, Upper Saddle River, N.J., USA
- Degla K.P. (2012a). Transaction Costs in the Trading System of Cashew Nuts in the North of Benin: A Field Study *American Journal of Economics and Sociology*, Volume 71, Issue 2, DOI: 10.1111/j.1536-7150.2012.00830.x, pp. 277-297.
- Degla K.P. (2012b). Rentabilité économique et financière des exploitations cotonnières basées sur la gestion intégrée de la fertilité des sols et des ravageurs au Nord-Bénin. BRAB, Numéro spécial, Septembre 2012. ISSN 1840-7099, pp 26-35
- Degla K.P., Tomavo D.M.E., Badou G. (2016). Gender based analysis of income diversification as a strategy for poverty reduction in Central Benin (West Africa), *int. J. Adv. Res.* 4(9). 840-854, ISSN: 2320-5407
- De Janvry, Fafchamps, Sadoulet (1991). Peasant household behaviour with missing markets: some paradoxes explained, *The economic journal*, 101, November, pp. 1400-1417
- Demeke A.B. (2003). Factors influencing the adoption of soil conservation Practices in Northwestern Ethiopia. *Diskussionspapiere*, No. 37. IRE, Göttingen, 73 p.
- Dendoncker N., Van Wesemael B., Rounsevell MDA., Roelandt C., Letens S. (2004). Belgium's CO2 mitigation potential under improved cropland management. *Agric. Ecosyst. Environ.* 103, p. 101-116.
- Ellis F. (1993). *Peasants Economics : Farm Households and Agrarian Development*, Second Edition, Cambridge University Press, 309 p.
- Fanou L. (2008). Rentabilité financière et économique des systèmes de production maraichers au Sud-Bénin : une application de la Matrice d'Analyse des Politiques. Thèse d'Ingénieur Agronome, FSA/UAC, Abomey Calavi, 80 p.
- FAO (2014). En quoi l'agriculture familiale est-elle importante ? (pp. 2), 2014, [www.fao.org/family-farming-2014/fr/](http://www.fao.org/family-farming-2014/fr/), (18.07.2019).
- Gerowitt B. (2003). Development and control of weeds in arable farming systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 98, p. 247-254.
- Gujarati D.N. (2004). *Basic Econometrics*, 4th ed. The McGraw Hill Companies, New York.
- Habib R. (2003). La production intégrée, une exigence de qualité pour l'agriculture. INRA. <http://www.inra.fr/presse/juin03/nb3.html>. (12/11/2007)
- Hamza MA., Anderson WK. (2005). Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Tillage Res.* 82, p. 121-145.
- He Yong (1994). « Economie Néo-institutionnelle et Développement – une analyse synthétique », *Revue d'Economie du Développement*, N° 4, pp 1-34
- Houndékon V. A., (1996). Analyse économique des systèmes de production du riz dans le Nord-Bénin. Thèse de Doctorat de troisième cycle en Sciences économiques. FASEG/ Côte d'Ivoire, 160 p.
- Ibro M., Bokar M. Alio K. Nouhoheflin T. (2002). Analyse Coût-bénéfice des Technologies du Niébé : Une Application de la Matrice d'Analyse des Politiques (MAP). Communication à la conférence annuelle de l'Association Africaine d'Evaluation, Nairobi, 10-14 Juin 2002. ReNSE. [www.ird.ne/reNSE](http://www.ird.ne/reNSE) (30.06.2012), 20 p.
- Kay D.R., Edwards W.M., Duffy P.A. (2008). *Farm management*, 6th edition, McGraw Hill, 468 p.
- Kotobiodjo N.M. (2016). Effets du mode d'accès à la terre sur la productivité du maïs dans le sud-Bénin : cas de la commune de Zogbodomey, Mémoire de Licence professionnelle, FA/UP, Bénin

- Leteinturier B., Tychon B., Oger R. (2007). Diagnostic agromique et agro-environnemental des successions culturales en Wallonie (Belgique). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ* 2007 II (1), 27-38
- MAEP (Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche), (2008). Approche Nouvelle pour la Réforme Globale de la Filière Coton au Bénin, Cotonou, Bénin, 16 p.
- Mensah E.R. (2006). Etude de la viabilité des exploitations au-lacodicoles au Bénin : Détection précoce des élevages à risque. Mémoire de 3ème Cycle, ENA, Meknès/Maroc, 186 p.
- Meraner M., Heijman W., Kuhlman T., Finger R. (2015). Determinants of farm diversification in the Netherlands, *Land Use Policy* 42 (2015) 767–780.
- Oladejo J.A., Adetunji M.O. (2012). Economic analysis of maize (*Zea mays* L.) production in Oyo state of Nigeria, *Agricultural Science Research Journals*, Vol. 2(2) pp. 77-83, February 2012, ISSN-L: 2026-6073
- Onuk, E.G., Ogara L.M., Yahaya H. Nannim N. (2010). Economic analysis of maize production in Mangu Local Government Area of Plateau State, Nigeria, *PAT* 2010, 6(1): 1-11: ISSN: 0794-5213
- PAM (2014). Analyse globale de la vulnérabilité et de la Sécurité Alimentaire. (AGVSA) (pp. 146). 2014, <http://www.wfp.org/food-security/>, (16.08.2018)
- Polanyi K. (1944). *La grande transformation, Aux origines politiques et économiques de notre temps*, Gallimard, (1944)
- Romer D. (2001). *Advanced Macroeconomics*. Shanghai University of Finance & Economics Press, pp. 5–17.
- Tewodros A.K. (2001). *Farm household Technical Efficiency: A Stochastic Frontier Analysis. A study of rice producers in Mardi Watershed in the western development region of Nepal*. Master Thesis. Agricultural University of Norway, Norway.
- Toulmin, C., Guèye G. (2003). *L'agriculture familiale en Afrique de l'Ouest : concepts et enjeux actuels*, 2003, [www.csabe.org/spip.php?article416](http://www.csabe.org/spip.php?article416), (18.08.2018).
- Wolff E. N. (1997). *The Economics of Productivity*, Cheltenham, E. Elgar Publishing Limited.
- World Bank. (2013). *Poverty in the World*. Retrieved December 1, 2013, from <http://go.worldbank.org/VL-7N3V6F20>
- Yabi A. J. (2009). Efficiency in rice production: Evidence from Gogounou District in the North of Benin. *Annales des Sciences Agronomiques* (12) 2 : 61-75. FSA-UAC. Abomey-Calavi, Bénin.
- Yabi A. J. Ouinsavi C. Sokpon N. (2009). Facteurs d'efficacité technico-économique de transformation du karité en beurre au Nord-Benin. *Ann. Univ. Lomé, série sc. Eco. Et gest.*, 2009, Volume III : 23-44
- Yabi J.A., Tovignan D.S., Yegbemey R.N. (2012). Analyse économique de la production rizicole dans la commune de Malanville au Nord – Est du Bénin, *Annales de l'Université Abdou Moumouni*, Tome XIII-A, pp. 32-41, 2012
- Yegbemey R.N. (2009). *Analyse économique des exploitations rizicoles de la Commune de Malanville*, Thèse d'Ingénieur Agronome, FA/UP, Parakou, Bénin, 62 p.