

ISSN: 2028-991X

Revue Marocaine des  
**Sciences Agronomiques  
et Vétérinaires**

**Volume 10 (4) - Décembre 2022**



**Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II,  
BP: 6202, Madinate Al Irfane, Rabat 10112, Maroc  
[www.iav.ac.ma](http://www.iav.ac.ma)**

# Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. B.P. 6202, Madinat Al Irfane, Rabat - 10112, Maroc

Dépôt légal: 2011 PE 0060 / ISSN: 2028-991X / e-ISSN: 2550-4401

[www.agrimaroc.org](http://www.agrimaroc.org)

## Comité de la Revue

Secrétaire Général du Département de l'Agriculture, Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, du Développement Rural et des Eaux et Forêts

Directeur de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II

Directeur de la Recherche Scientifique et de la Formation Doctorale, IAV Hassan II

## COMITÉ ÉDITORIAL

### Éditeur de la revue

Prof. Ahmed BAMOUH, Éditeur en chef, IAV Hassan II,

### Éditeurs de rubriques

• Coordinateur du Comité Éditorial, BAMOUH A., Production Végétale • BARTALI E., Ingénierie Agricole • ABDENBI E., Toxicologie Vétérinaire • EL OTMANI M., Horticulture • CHTAINA N., Phytopathologie • BOUCHRITI N., Hygiène Alimentaire • ETTARID M., Ingénierie Topographique • ARABA A., Production Animale • HOSSAINI-HILALI J., Physiologie Animale • KARIB H., Hygiène Alimentaire • OUASSAT M., Anatomie Animale • ALALI S., Pathologie des Ruminants •

## ÉVALUATEURS SCIENTIFIQUES

• ABDENBI E. (Toxicologie Vétérinaire) • ACHAÂBAN M.R. (Anatomie Comparée) • AIT EL MEKKI A. (Agro-économie) • AIT HOUSSA A. (Agronomie) • AIT LBACHA H. (Chirurgie des Ruminants) • ABOUSALIM A. (Horticulture) • AFECHTAL M. (Virologie Végétale) • ALAMI IDRISSE N. (Zoologie Agricole) • ALAOUI N. (Agronomie) • ALAOUI L. (Alimentation et Nutrition) • ALALI S. (Pathologies des ruminants) • ARABA A. (Production Animale) • BAALI E.H. (Énergie Agricole) • BAMOUH A. (Agronomie) • BENABDELLAH M. (Agro-économie) • BENAZZI S. (Histologie et Anatomie pathologique vétérinaires) • BENGOUIMI M. (Sciences Camelines) • BELQADI L. (Génétique Végétale) • BERDAY N. (Aquaculture) • BERRADA J. (Microbiologie et immunologie animales) • BIROUK A. (Génétique Végétale) • BOUHACHE M. (Malherbologie) • BOUHALOUA M. (Foresterie) • BOUCHRITIN. (Hygiène et Sécurité Sanitaire des Aliments) • BOUKHLIQ R. (Reproduction Animale) • BOUHIDA M. (Virologie Agricole) • BOUNFOUR M. (Pathologie Végétale) • BOURARACHE-H. (Machinisme Agricole) • BOUSLIKHANE M. (Épidémiologie Vétérinaire) • BOUZOUBAAK. (Pathologie Aviaire) • CAMUS C. (Virologie, Biologie Moléculaire) • CHAIBIA. (Technologie Alimentaire) • CHIKHAOUI M. (Sciences du Sol) • CHENTOUF M. (Reproduction Animale) • CHLYEH G. (Zoologie Agricole) • CHTAINA N. (Pathologie Végétale) • CHAIBI A. (Microbiologie Alimentaire) • DAHANI S. (Hygiène et Sécurité Sanitaire des Aliments) • DAHCHOUR A. (Chimie Agricole) • DERQAOUI L. (Reproduction Animale) • DOUKKALI R. (Agro-économie) • DOUIRA A. (Pathologie Végétale) • DRISSI TOUZANI C. (Pathologie Aviaire) • DUCATEZ M. (Virologie animale) • EL ALLALI K. (Neurobiologie Animale) • EL AMIRI B. (Reproduction Animale) • EL AYACHI M. (Ingénierie Topographique) • EL BERBRI I. (Microbiologie et Immunologie Animales) • EL HAMMOURI B. (Biochimie Environnementale) • EL HOUADFI M. (Pathologie Aviaire) • EL HRAIKIA. (Pharmacologie et Toxicologie Vétérinaires) • ESSARIOUI A. (Pathologie Végétale) • ESSIARI M. (Oléiculture) • ETTARID M. (Ingénierie Topographique) • EZZAHOUANI A. (Viticulture) • FASSI-FIHRI O. (Microbiologie et Immunologie Animales) • FAYE B. (Sciences Camelines) • FELLAHI S. (Pathologie Aviaire) • FILALI-MALTOUF A. (Biologie Moléculaire) • GHAOUTI L. (Génétique Végétale) • GUEROUALI A. (Sciences Vétérinaires) • HALIS O. (Toxicologie Animale) • HAMDANI M. (Chimie Environnementale) • HAMMANI A. (Génie Rural) • HARROUNI C. (Espaces Verts) • HERZENNI A. (Sociologie Rurale) • HORMATALLAH A. (Pesticides) • HMIMINA M. (Zoologie Agricole) • HOUMY K. (Machinisme Agricole) • HOSSAINI-HILALI J. (Physiologie Animale) • ISMAILI ALAOUI M. (Technologie Alimentaire) • JANATI IDRISSE D. (Technologie Alimentaire) • KADIRI A. (Microbiologie et Immunologie Animales) • KARIB H. (Hygiène et Sécurité Sanitaire des Aliments) • KHAYI S. (Biologie Moléculaire, Biotechnologie) • KHALLAYOUNE K. (Parasitologie Animale) • KHEYYALI D. (Aquaculture) • KICHOU F. (Histologie et Anatomie Pathologique Vétérinaires) • KUPER M. (Ressources en Eau) • LAHLALI R. (Pathologie Végétale) • LAMRINI M. (Halieutique) • MAHOU A. (Arboriculture Fruitière) • MAAZOUZ A. (Sciences Vétérinaires) • MAZIH A. (Zoologie Agricole) • MOUAHID M. (Pathologie aviaire) • MOUNIR M. (Sciences Alimentaires) • M'SADAK Y. (Agro-équipements) • NAIMI M. (Sciences du Sol) • NASSIK S. (Pathologie Aviaire) • OUASSAT M. (Anatomie Comparée) • OUCHBANI T. (Biochimie et Industrie Agro-alimentaire) • OUKESSOU M. (Physiologie et Thérapeutique Animales) • RAHMANI M. (Technologie Alimentaire) • RAHMATALLAH N. (Pathologie Aviaire) • ROUCHDI M. (Ingénierie Géodésique) • SAIDI B. (Technologie Alimentaire) • SAHRAOUI N. (Pathologie Aviaire) • SEBARI I. (Ingénierie Topographique) • SEMLALI E-H. (Ingénierie Topographique) • SGHIRI A. (Reproduction Animale) • SKIDMORE J.A. (Reproduction Cameline) • SRAIRI M-T. (Production Animale) • TANJI A. (Malherbologie) • TIBARY A. (Reproduction Animale) • TRIQUI R. (Hygiène et Sécurité Sanitaire des Aliments) • ZAHAR M. (Technologie Alimentaire) • ZOUAGUI Z. (Pathologies des Ruminants) •



### Sommaire

#### PRODUCTION VÉGÉTALE ET ENVIRONNEMENT

**Efficacité d'une souche de *Bacillus velezensis* dans le biocontrôle de la pourriture racinaire de la betterave à sucre due à *Sclerotium rolfsii***

*Michelle Gaëlle Siméone BIDIMA, Noureddine CHTAINA, Brahim EZZAHIRI, Mohammed EL GUILLI, Aymen KHEZANE, Ilham BARAKAT* ..... 455

**Évaluation de la productivité de cinq cultivars de bananiers associés aux légumineuses arborescentes à Kinshasa, RD Congo**

*Jean Christian BANGATA BITHA NYIMBUNZU, Patrick MOBAMBO KITUME NGONGO* ..... 461

**Modulation de l'expression des gènes de rédoxines par interférence ADN chez le blé**

*Abderrakib ZAHID* ..... 469

**Modélisation spatiale du transfert des nitrates dans un bassin versant agricole: Cas du bassin versant de Ono (Côte d'Ivoire)**

*Tiangoua KONE, Béatrice Assamoi AMA-CAUPHYS, Lydie Clarisse Amenan MANGOUA-ALLALI, Jean-Claude Konan N'DRI, Jean-Marie Pétémanagnan OUATTARA, Lacina COULIBALY* ..... 475

**Flore adventices des vergers de l'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) en Haute et Moyenne Casamance: Caractérisation de la flore et niveau d'infestation de espèces**

*Samba Laha KA, Rahimi MBALLO, Moustapha GUEYE, Roger Nkoa ONDOUA, Mame Samba MBAYE, Kandioura NOBA* ..... 485

**Flore adventices des bananeraies du Sud-Est Sénégal: Caractérisation de la flore et niveau d'infestation des espèces**

*Samba Laha KA, Rahimi MBALLO, Roger Nkoa ONDOUA, Ghislain KANFANY, Abdoul Aziz CAMARA, Kandioura NOBA* ..... 491

#### ÉCONOMIE AGRICOLE ET RURALE

**Investissements publics, développement agricole et croissance économique en Côte d'Ivoire: Une analyse des liens de causalité selon l'approche économétrique**

*Paul-Alfred Kouakou KOUAKOU* ..... 497

**Incidence de la dépréciation du franc congolais sur les prix de produits carnés vendus sur le marché de Kisangani**

*Gaston ENAMBUMBI, Salumu Prosper KIMWANGA, Léonard Muanasaka KABUITA, Alain Katayi LUKUSA* ..... 503

**Impact économique et social des activités de l'Économie Sociale et Solidaire: Cas des coopératives laitières du Moyen Atlas**

*Najib TIROU* ..... 510

**Analyse des effets des facteurs d'intensification sur les types d'exploitations agricoles du mil sanio au Sénégal**

*Sandjiry DIOP, Madické Mbodj NDIAYE, Ibrahima DIALLO, Babacar SENE* ..... 517

**Analyse des déterminants du choix l'approvisionnement des ménages en viande à Dakar (Sénégal)**

*Sandjiry DIOP, Pape Ndary NIANG* ..... 524

## RESSOURCES NATURELLES ET FORESTERIE

### Évaluation des approches et techniques de gestion durable des terres dans le Rif Oriental

*Ayoub ATTOU, Mohamed SABIR, Mustapha NAIMI, Mohamed CHIKHAOUI, Othman MACHRAFI..... 530*

### Analyse SWOT de la filière des truffes au Maroc: un plaidoyer pour la valorisation d'une ressource naturelle

*Soukaina HAKKOU, Nadia MACHOURI, Mohamed SABIR..... 540*

### Diversité floristique des forêts communautaires de la préfecture de Dankpen au Togo

*Wouyo ATAKPAMA, Hodabalo EGBELOU, Fousseni FOLEGA, Chakourou AFO, Komlan BATAWILA, Koffi AKPAGANA.....548*

### Variabilité morphologique de la population de Baobab (*Adansonia digitata* L.) dans la ville de Ziguinchor, Sénégal

*Mohamed Mahamoud CHARAHABIL, Mapathe DIENG, Abdoulaye DIOUF, Mariétou TENDENG, Landing NDIAYE, Paul NDIAYE..... 558*

### Propriétés biologiques et pharmacologiques de *Kigelia africana* (Lam.) Benth en médecine traditionnelle humaine et vétérinaire

*Christophe IWAKA, Erick Virgile AZANDO, Esaïe TCHETAN, Alassan S. ASSANI, Abiodoun Pascal OLOUNLADÉ, Mawulé Sylvie HOUNZANGBÉ-ADOTÉ..... 567*

### Diversité des abeilles sauvages de la Réserve de Biosphère de Luki (RD Congo)

*Tresor BAKAMBANA, Joseph LUMANDE, Julien PUNGA, Erick BUKAKA, Hyacinthe LUKOKI, Jonas NAGAHUEDI... 580*

## PRODUCTION ET SANTÉ ANIMALES

### Caractérisation épidémiologique, clinique et financière de l'épizootie de 2018 de la fièvre aphteuse dans les élevages bovins au Burkina Faso

*Dieudonné DAHOUROU, Kadré SANFO, Mireille Catherine KADJA, Amadou TRAORE..... 589*

### Effet de la litière de biochar à base de rafles de maïs sur les performances zootechniques du poulet de chair au Nord Bénin

*Nadège DEDEHOU, Sourébou Hilaire SANI WOROGO, Rodrigue V. Cao DIOGO, Milognon Boris BEHINGAN, Ibrahim ALKOIRET TRAORE..... 594*

### Risque de transmission potentielle des infections bactériennes par les mouches synantropes en zone urbaine de Côte d'Ivoire

*David KOMONO, Biégo Guillaume GRAGNON, Lydie Aya KOFFI..... 599*

### Impact de l'exploitation aurifère artisanale et clandestine sur la distribution des Monogènes parasites branchiaux de *Clarias gariepinus* dans la rivière Bagoué (Côte d'Ivoire)

*Amani Reine Elisabeth KOUADIO, Enoutchy Fabrice BOUAH, Stanislas Silvain YAO, Valentin N'DOUBA..... 608*

### Les taurins nains à courtes cornes dans le cheptel bovin ouest africain: Cas des races Lagunaire et Muturu

*Stéphane AKA, Brahim SORO, Michael Herbert Kpahé KANH, Isidore Kouadio KPANDJI, Mathurin KOFFI, Didier Paulin SOKOURI..... 615*



# Efficacité d'une souche de *Bacillus velezensis* dans le biocontrôle de la pourriture racinaire de la betterave à sucre due à *Sclerotium rolfsii*

M. G. S. BIDIMA<sup>1\*</sup>, N. CHTAINA<sup>1</sup>, B. EZZAHIRI<sup>1</sup>, M. EL GUILLI<sup>2</sup>, A. KHEZANE<sup>1</sup>, I. BARAKAT<sup>1</sup>

(Reçu le 19/08/2022; Accepté le 30/09/2022)

## Résumé

Dans une précédente étude, *Bacillus velezensis* NC318, une souche bactérienne antagoniste isolée de la rhizosphère du sol d'une culture de palmier dattier dans la région du Tafilalet, a montré un haut potentiel antagoniste *in vitro* contre la pourriture racinaire de betterave sucrière causée par *Sclerotium rolfsii* Sacc. Le présent travail consistait à évaluer *in vivo* l'incidence et la sévérité de la maladie sur plants de betteraves sucrières en pot sous serre. 147 jours après le semis dans un sol infesté par les sclérotos de ce pathogène (40 sclérotos /250 g de sol), les résultats ont montré que la bactérie appliquée par la bactérisation des semences ou dans le sol naturellement infesté a pu inhiber totalement la germination des sclérotos et par la suite aucune infection des plantes de betteraves sucrières n'a été observée. Aussi une amélioration des paramètres de croissance des plants (le poids frais de la partie aérienne des plants, le poids frais des racines, la longueur des pousses et le nombre de feuilles) des plantes issues de semences traitées avec la souche NC318 a été enregistrée. Le test de la viabilité de la souche antagoniste NC318 sur les semences bactériisées et stockées à 4 °C, a montré que cet antagoniste est resté viable après cinq mois de conservation et a préservé son potentiel antagoniste contre *S. rolfsii* testé *in vitro*. Ces résultats suggèrent que la souche NC318 pourrait potentiellement être un agent de biocontrôle pour lutter contre *S. rolfsii* avec un effet biostimulateur de la croissance des plantes.

**Mots clés:** Biocontrôle, *Sclerotium rolfsii*, *Bacillus velezensis*, betterave à sucre, pourriture racinaire

## Efficacy of a *Bacillus velezensis* strain in the biocontrol of sugar beet root rot caused by *Sclerotium rolfsii*

### Abstract

In a previous study, *Bacillus velezensis* NC318, an antagonistic bacterial strain isolated from the rhizosphere of the soil of a date palm crop in the Tafilalet region, showed a high *in vitro* antagonistic potential against sugar beet root rot caused by *Sclerotium rolfsii* Sacc. The present work consisted in evaluating *in vivo* the incidence and severity of the disease on sugar beet plants in pots under a greenhouse. 147 days after sowing in a soil infested with sclerotia of this pathogen (40 sclerotia /250 g of soil), the results showed that the bacterium applied by bacterization of the seeds or in the naturally infested soil was able to totally inhibit the germination of the sclerotia and subsequently no infection of sugar beet plants was observed. Moreover, an improvement of plant growth parameters (fresh weight of the aerial part of the plants, fresh weight of the roots, length of the shoots and, the number of leaves) of plants from seeds treated with strain NC318 was recorded. Viability testing of the antagonist strain NC318 on treated seeds stored at 4 °C, showed that this antagonist remained viable after five months of storage and preserved its antagonistic potential against *S. rolfsii* tested *in vitro*. These results suggest that strain NC318 could potentially be a biocontrol agent to control *S. rolfsii* with a biostimulator effect on plant growth.

**Keywords:** Biocontrol, *Sclerotium rolfsii*, *Bacillus velezensis*, sugar beet, root rot

## INTRODUCTION

La lutte biologique est une stratégie agroécologique visant à lutter contre les maladies causées par les pathogènes des plantes et permet de minimiser les interventions chimiques et leurs impacts négatifs sur la santé et l'environnement (Caulier *et al.*, 2018). Les microorganismes naturels bénéfiques, également appelés agents de biocontrôle, permettent une gestion plus rationnelle et plus sûre des maladies causées par les pathogènes des plantes (Karimi *et al.*, 2016). Plusieurs études ont signalé l'utilisation potentielle des bactéries de la rhizosphère, en particulier les PGPR, pour stimuler la croissance des plantes et les protéger contre les pathogènes fongiques (Rabbee *et al.*, 2019). Parmi ces bactéries, les espèces du genre *Bacillus* ont été signalées efficaces pour le contrôle de plusieurs maladies des plantes causées par les agents pathogènes fongiques du sol (Carmona-Hernandez *et al.*, 2019). Ces espèces se prêtent très bien à une utilisation dans l'agriculture vu leurs aptitudes à former des spores résistantes aux rayons ultraviolets, à la chaleur et à la sécheresse. Cela leur permet de résister à des conditions environnementales défavorables et facilite leur préparation à des fins commerciales (Tiago *et al.*, 2004).

Les phytopathogènes du sol comme *Sclerotium rolfsii* sont très difficiles à contrôler. Ce champignon du sol à la capacité de former des sclérotos qui peuvent survivre pendant plusieurs années dans le sol dans des conditions environnementales difficiles. *S. rolfsii* est responsable de sérieux dégâts sur de nombreuses cultures agricoles, horticoles et arboricoles (Leoni *et al.*, 2014). Les conditions chaudes et humides favorisent la croissance de ce pathogène, avec des températures optimales se situant entre 25 et 30 °C pour la croissance des hyphes et la germination des sclérotos (Punja, 1985). Au Maroc, il est l'agent causal principal de la pourriture des racines de la betterave à sucre (*Beta vulgaris*), principalement dans la région irriguée de Doukkala. Cette culture industrielle occupe une place importante dans le périmètre irrigué de Doukkala, en effet sa contribution à la production nationale est de 42 % (Redani, 2015). Cet agent pathogène a été rapporté comme étant très virulent dans cette région et attaque les tubercules de la betterave à sucre quelques semaines avant la récolte causant jusqu'à 80 % de pertes de rendement, de qualité de la récolte et de teneur en sucre des plantes ce qui entraîné des pertes économiques considérables (Khattabi *et al.*, 2004). Bien que de nombreux fongicides soient efficaces *in vitro* et

<sup>1</sup> Département de Production, Protection et Biotechnologie Végétales, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc

<sup>2</sup> Institut National de la Recherche Agronomique, station de Menzeh, Kénitra, Maroc

comme traitement des semences contre *S. rolfsii*, leur utilisation dans la pratique n'est pas justifiée d'un point de vue économique, ou environnemental, car les traitements doivent être répétés au moins trois fois sans que le contrôle soit garanti (Khattabi *et al.*, 2004). En outre, la pourriture apparaît en fin de saison de la culture de betterave sucrière ils pourraient avoir des risques de résidus de pesticides dans les tubercules. Dans ces conditions la lutte contre *S. rolfsii* ne peut pas se faire à travers une seule méthode mais plutôt grâce à la combinaison de plusieurs méthodes de lutte dans le contexte d'une approche intégrée (rotation, labour profond, solarisation du sol visant à réduire la capacité de survie des sclérotés dans le sol, semis précoce, utilisation de microorganismes antagonistes) (Ezzahiri, 2021). L'utilisation de microorganismes tels que les bactéries PGPR, capable de protéger et de stimuler la croissance des plantes est une stratégie qui fait partie d'une production durable et écologique et qui peut être adoptée dans un programme de lutte contre *S. rolfsii*.

Dans le cadre de la recherche de mesure de lutte efficace mais aussi respectueuse de l'environnement contre *S. rolfsii*, une bactérie antagoniste *B. velezensis* NC318, isolée de la rhizosphère du sol, s'est montré efficace contre le pathogène dans les essais *in vitro* (Bidima *et al.*, 2021). Cette inhibition a été induite par les mécanismes liés aux métabolites secondaires et aux composés organiques volatiles produits par la bactérie qui ont été mis en évidence dans les études précédentes. Cependant, l'utilisation de cette bactérie en pratique nécessite qu'elle soit adaptée à l'environnement dans lequel elle pourra être utilisée. Dans ce contexte, l'objectif principal de la présente étude était donc (i) d'évaluer à petite échelle dans des conditions sous serre l'effet de la souche NC318 dans le biocontrôle de la pourriture dans un sol naturellement infesté par les sclérotés et (ii) d'évaluer la capacité de cette bactérie à stimuler la croissance des plantes de betteraves sucrières.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Microorganisme et conditions de culture

La souche bactérienne antagoniste *Bacillus velezensis* NC318 utilisée dans cette étude a été isolée de la rhizosphère d'une culture de palmier dattier dans la région du Tafilalet dans une précédente étude (Bidima *et al.*, 2021). La souche NC318 a été cultivée sur milieu PDA (Potato dextrose agar) à 28 °C avant toute utilisation expérimentale.

### Matériel végétal et substrat du sol

Des semences monogermes de betteraves sucrières de la variété «Casablanca» ont été utilisées dans tous les essais. Les semences ont été désinfectées superficiellement avec de l'hypochlorite de sodium (NaClO) à 1 % pendant trois minutes puis rincées trois fois avec de l'eau distillée stérile et séchées à l'air libre sous hotte à flux laminaire. Le sol utilisé lors de l'expérimentation a été prélevé à la station expérimentale de mise en valeur agricole (SEMVA) de Doukkala dans une parcelle fortement infestée par *S. rolfsii* (une moyenne de 40 sclérotés /250 g de sol). Le sol avait une texture limoneuse (limon: 64,3 %, sable: 23,6 %, argile: 12,2%), avec 3,4 % de matière organique, un pH de 7,98 et une conductivité électrique de 0,128 mS/cm.

## Traitement des semences

### Préparation des suspensions bactériennes

*B. velezensis* NC318 a été cultivée sur milieu PDA et incubée pendant 48 heures à 28 °C. La biomasse de la souche a été grattée délicatement à la surface de la culture et mise en suspension dans des flacons stériles contenant 250 ml du milieu liquide LB (Lysogeny broth). Les flacons ont été incubés à 28 °C dans une chambre de culture à l'obscurité et sous agitation continue (75 rpm) durant 72 heures. Les suspensions bactériennes ont été ajustées à une concentration de  $10^8$  cfu/ml par mesure spectrophotométrique (DO 600 nm).

### Bactérisation des semences de betteraves sucrières

Les semences de betteraves sucrières désinfectées ont été délicatement trempées dans les suspensions bactériennes puis agitées pendant 30 minutes pour assurer une uniformité des cellules bactériennes sur la surface des semences. Elles ont été ensuite séchées sur du papier filtre stérile sous une hotte à flux laminaire durant 4 heures. Des semences non bactérisées trempées dans le milieu LB ont servi de témoin.

### Effet de la souche NC318 sur la pourriture racinaire de la betterave sucrière causée par *Sclerotium rolfsii*

Le sol prélevé de la SEMVA a été broyé, tamisé (maille 7 mm de diamètre) et placé dans des pots en plastiques ovales de 30 cm de diamètre et 40 cm d' hauteur à raison de 10 kg par pot. Les semences bactérisées et non bactérisées ont été semées dans un plateau alvéolé puis repiquées dans les pots en plastiques 10 jours après le semis. Tous les pots ont été placés dans une serre à température ambiante, et arrosés tous les 2 jours. 100 jours après le semis, un traitement tardif et un traitement de rappel ont été appliqués au niveau des racines des plantes, avec une quantité de 100 ml ( $10^8$  cfu/ml) de suspension bactérienne. 100 ml de milieu LB ont été ajoutés aux plants de betterave en pots servant de témoin. Les différents traitements ont été faits comme suit: T0: semences non bactérisées (témoin), T1: semences non bactérisées + traitement tardif; T2: semences bactérisées; T3: semences bactérisées + traitement de rappel. Le dispositif expérimental était disposé en bloc aléatoire complet, chaque traitement a fait l'objet de 4 répétitions et l'essai a été conduit 2 fois.

### Incidence et sévérité de la pourriture de betteraves sucrières

La pourriture racinaire n'apparaît que lorsqu'on assiste à une température élevée couplée à une humidité du sol élevée. Lors des essais, les plantes ont été régulièrement suivies pour le développement des symptômes de la pourriture et l'arrachage a été fait 147 jours après le semis (environ 5 mois). Puis l'incidence de la maladie a été déterminée par la formule suivante:

$$\text{Incidence (\%)} = \frac{\text{Nombre de plantes atteintes}}{\text{Nombre de plantes observées}} * 100$$

La sévérité de la maladie a été évaluée pour toutes les plantes à l'aide d'une échelle allant de 0 à 4. Classification de la maladie, 0: plante saine avec une racine saine; 1: plante symptomatique et entre 0 % à 25 % de lésion sur la racine; 2: plante symptomatique et entre 25 % à 50 % de lésion sur la racine; 3: plante symptomatique et entre 50 %



à 75 % de lésion sur la racine; 4: plante morte. La sévérité a ensuite été déterminée à l'aide de la formule établie par McFadden *et al.* (1989) comme suit:

$$\text{Sévérité (\%)} = \frac{\sum ab}{AK} * 100$$

a: nombre de plante avec le même degré d'infestation

b: degré d'infestation (échelle de classification de la maladie)

A: nombre total de plante

K: degré d'infestation le plus élevé

### Effet de la souche NC318 sur la croissance des plantes de betteraves sucrières

Des semences de betteraves sucrières bactériées et non bactériées mises en germination dans un plateau alvéolé ont été transplantées 10 jours après le semis, dans des pots de 30 cm contenant du sol stérile (autoclavé deux fois à 121 °C pendant 1 heure à 24 heures d'intervalle). Les plantes ont été placées sous serre à température ambiante et arrosées régulièrement. Chaque traitement a fait l'objet de 4 répétitions à raison de 3 pots par traitements. 80 jours après le semis, les paramètres de croissance des plantes (le poids des plantes fraîches, le poids des racines fraîches, la longueur des pousses des plantes et le nombre de feuilles) ont été mesurés. Les paramètres de croissance issues des semences bactériées ont été comparés aux plantes témoins issus des semences non bactériées.

### Suivi de la survie de la souche NC318 sur les semences bactériées

Les tests de viabilité de la souche NC318 sur les semences de betteraves sucrières ont été évalués après 5 mois de conservation à 4 °C. La méthode consiste à placer 5 semences de betteraves sucrières dans des boîtes de pétri contenant du milieu PDA puis à incuber les boîtes à 28 °C pendant 24 heures.

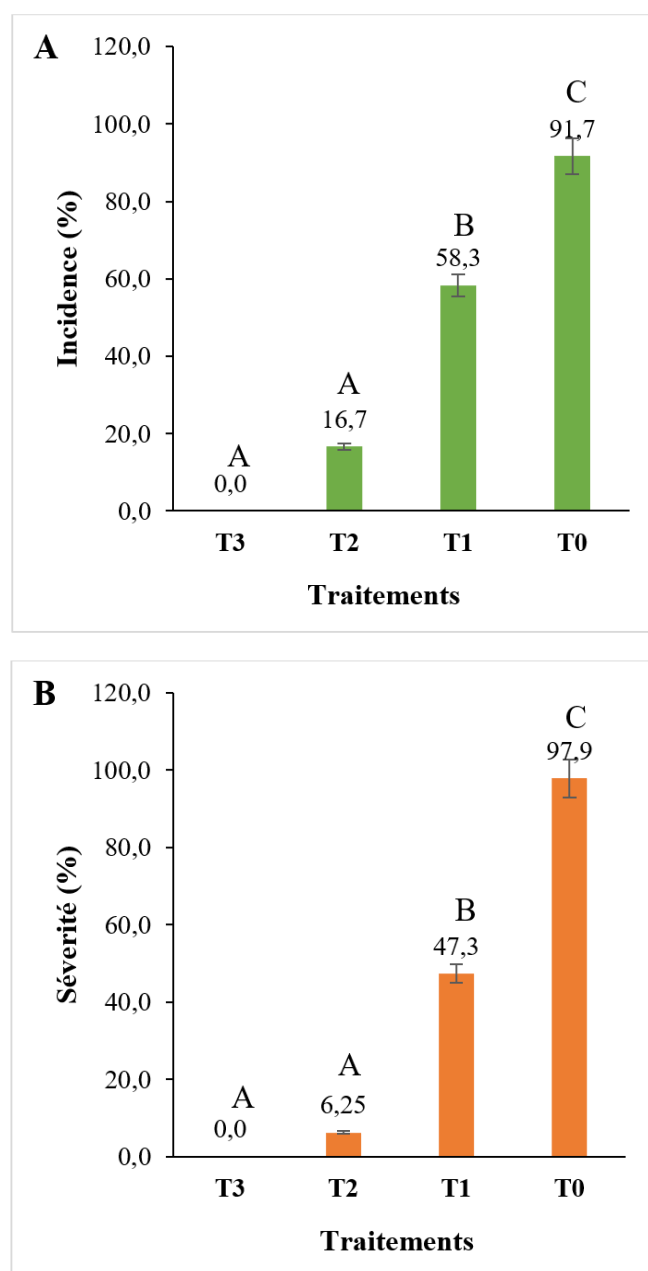
### Analyse statistique

Les données ont été saisies sur fichier Excel 2019 et ont été analysées avec le logiciel SPSS (version 20). L'analyse de la variance (ANOVA) a été réalisée et une comparaison des moyennes des différents traitements a été effectuée par le test de Tukey à  $p < 0,05$ .

## RÉSULTATS

### Efficacité de la souche NC318 dans le contrôle biologique de *Sclerotium rolfsii*

*B. velezensis* NC318 a été testée pour sa capacité à réduire ou à inhiber le développement de la pourriture racinaire causée par *S. rolfsii*. L'essai a été réalisé sous serre sur plants de betterave à sucre en pots. La souche NC318 a montré une réduction significative ( $p < 0,05$ ) de l'incidence et de la sévérité de la maladie sur les plantes de betteraves sucrières par rapport au témoin non traité (T0) (Figure 1). L'effet protecteur de la souche NC318 était plus prononcé dans les traitements T3 où les semences ont été bactériées avec l'application d'un traitement de rappel au cours du cycle. L'incidence de la maladie pour les traitements T3 était nulle et aucun symptôme de la pourriture n'a été observé sur les plants de betteraves sucrières



**Figure 1: Biocontrôle de la pourriture à *S. rolfsii* par *B. velezensis* NC318. A: Incidence de la pourriture. B: Sévérité de la pourriture. T0: semences non bactériées (témoin) T1: semences non bactériées + traitement tardif, T2: semences bactériées, T3: semences bactériées + traitement de rappel**  
Les barres indiquent l'erreur standard des moyennes. Les moyennes avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes avec le test de Tukey à  $p < 0,05$

(Figure 2). Par contre, l'incidence de la maladie dans les traitements témoin (T0) était de 91,7 % avec une sévérité de la maladie de 97,9 %. L'observation des racines montraient un mycélium blanc cotonneux avec des sclérotés matures (Figure 2).

La réduction des symptômes de la pourriture a été observée pour les traitements tardifs (T1) et cette réduction était beaucoup plus importante pour les traitements avec des semences bactériées sans rappel (T2). L'incidence de la maladie était respectivement de 16,7 et 58,3 %. Une différence significative entre les différents traitements dans la sévérité de la maladie a été observée (Figure 1).

### Effet de la souche NC318 sur la croissance des plantes de betterave à sucre

L'effet de la stimulation de la croissance des betteraves sucrières par la souche NC318 a été évalué 80 jours après le semis dans un sol stérile. Les paramètres de croissance, à savoir le poids des plantes fraîches, le poids des racines fraîches, la longueur des pousses et le nombre de feuilles ont été significativement améliorés ( $p < 0,05$ ) comparativement aux plantes non traitées avec la souche NC318 (Tableau 1).

La souche NC318 a permis une augmentation de la croissance des plantes de betteraves sucrières par rapport au contrôle négatif (Figure 3).

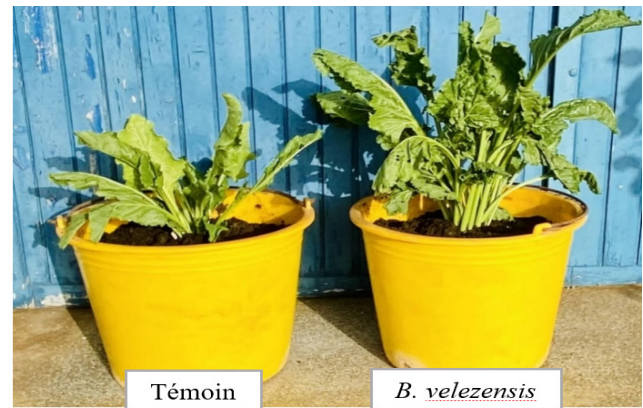


Figure 3: Effet de *B. velezensis* NC318 sur les paramètres de croissance de la betterave à sucre par rapport au témoin 80 jours après semis

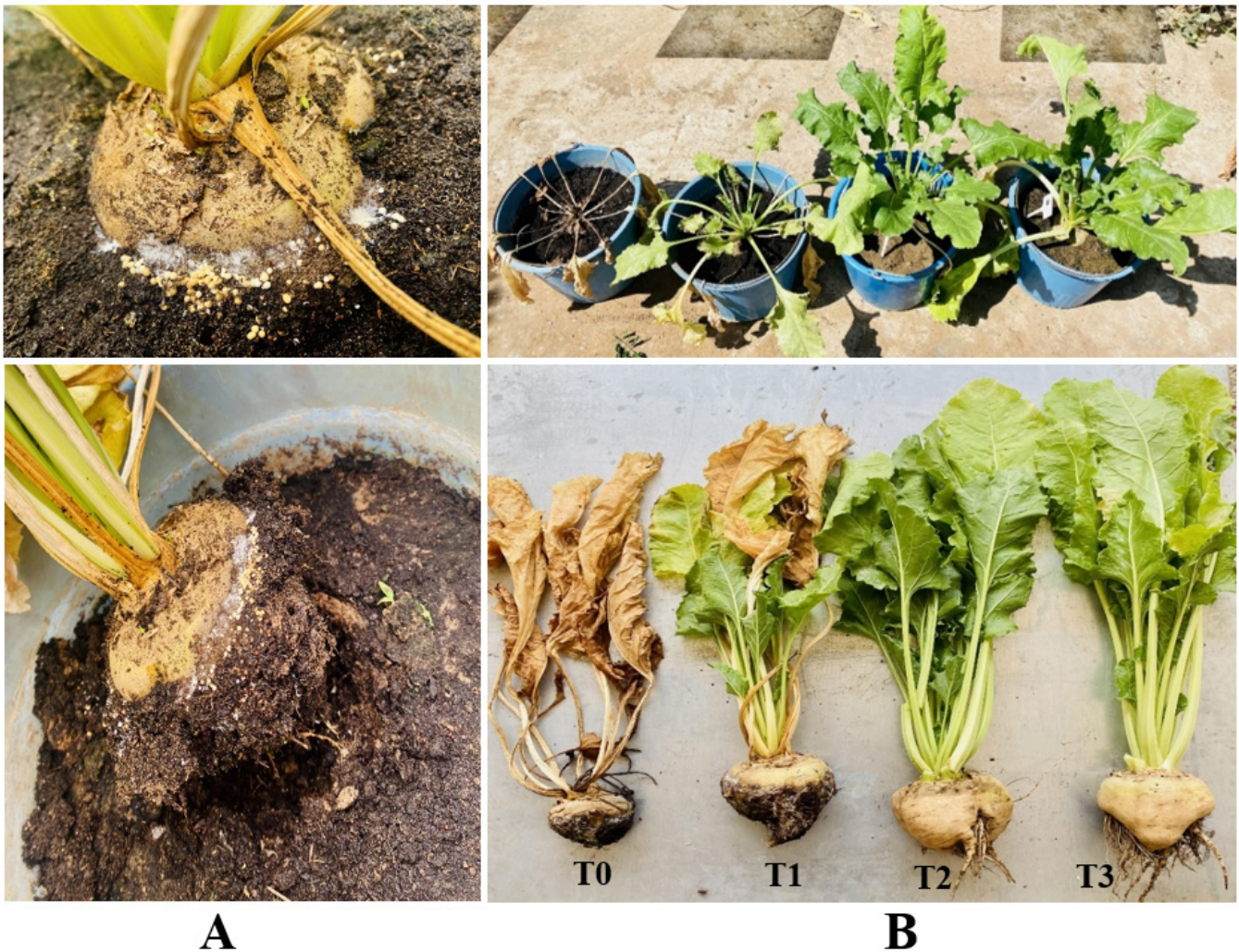


Figure 2: Essai de biocontrôle de *S. rolfii* par la souche NC318, racines de betteraves sucrières après 147 jours de semis. A: Symptômes de la pourriture dans les traitements témoins (T0) avec apparition du mycélium et des sclérotés; B: Racines de betteraves à sucre issues des différents traitements, T0: semences non bactérisées (témoin); T1: semences non bactérisées + traitement tardif; T2: semences bactérisées; T3: semences bactérisées + traitement de rappel

Tableau 1: Paramètres de croissance des betteraves à sucre après traitement des semences avec *B. velezensis* NC318 comparativement aux semences non traitées

Traitements	Poids des plantes fraîches (g)	Poids des racines fraîches (g)	Longueur des pousses (cm)	Nombres de feuilles
<i>B. velezensis</i> NC318	635,6 ± 4,02	361,5 ± 12,5	40,7 ± 4,6	27,2 ± 1,3
Témoin	193,8 ± 1,87	158,9 ± 3,9	14,7 ± 7,8	11,6 ± 0,9

### Suivi de la vitalité de la souche NC318 sur les semences bactérisées

Des tests de viabilité de semences bactérisées avec une suspension bactérienne de la souche NC318 ont été menés après de 5 mois de conservation à 4 °C. Les résultats suggèrent que la conservation des semences n'a pas affecté la viabilité de la bactérie sur les semences après 5 mois de conservation (Figure 4).



Figure 4: Test de viabilité sur des semences bactérisées par *B. velezensis* NC318 après 5 mois de conservation à 4°C

## DISCUSSION

L'utilisation des agents de biocontrôle dans la lutte contre les pathogènes du sol est devenue une alternative prometteuse aux pesticides chimiques conventionnels. Les bactéries du genre *Bacillus* représentent les espèces les plus exploitées en tant qu'agents de biocontrôle ou comme biopesticides (Lengai *et al.*, 2018). Différentes propriétés, dont la capacité à former des endospores, à produire une grande variété de métabolites secondaires ayant des effets entre autres fongicides et à stimuler la croissance des plantes, ont fait du genre *Bacillus* un agent de lutte biologique prometteur (Mutlu *et al.*, 2020). Plusieurs souches bactériennes ont été signalées comme agent bio protecteurs des plantes contre divers pathogènes du sol, en particulier les champignons phytopathogènes (Dawar *et al.*, 2010; Alamri *et al.*, 2015; Caulier *et al.*, 2018). Diverses spécialités commerciales à base de souches de *Bacillus* sont déjà homologuées pour lutter contre certaines maladies cryptogamiques (ONSSA, 2022).

Dans cette étude, il a été démontré que *B. velezensis* NC318 est capable d'inhiber la germination des sclérotés et de réduire l'incidence et la sévérité de la maladie causée par le pathogène du sol *S. rolfssii* sur betterave à sucre. Les résultats des essais sur plants en pots sous serre ont révélé que la bactérie a pu inhiber de manière significative ( $p < 0,05$ ), avec une efficacité de biocontrôle de 100 %, le développement du pathogène en empêchant la germination des sclérotés et donc l'infection et la propagation de la maladie sur les tubercules des plants de la betterave à sucrière. Les résultats ont montré que l'incidence de la maladie était nulle, lorsque que les semences de betteraves

sucrières ont été bactérisées et combiné à une application par arrosage d'une suspension bactérienne ( $10^8$  cfu/ml) au niveau des tubercules des plantes. Dans une étude de Chen *et al.* (2020), une souche de *B. velezensis* LHSB1 a été efficace dans la lutte contre la pourriture de la tige de l'arachide, causée par *S. rolfssii*, dans des expériences conduites sur plants en pots sous serre. La souche LHSB1 a réduit de manière significative l'incidence de la maladie et la gravité de la pourriture des tiges ( $p < 0,05$ ) par rapport aux témoins, et l'efficacité du biocontrôle a atteint 70,8 %. D'autres souches bactériennes ont été signalées efficaces dans le contrôle de la pourriture racinaire de la betterave à sucre dû à *S. rolfssii*. Le traitement du sol avec une bactérie *Pseudomonas fluorescens* SBHRPF2 a réduit l'incidence de la pourriture racinaire de la betterave sucrière à un taux de 70,82 % (Paramasivan *et al.*, 2019). Gholami *et al.* (2014) ont signalé que *B. subtilis* subsp. *Subtilis*, *B. atrophaeus* et *B. subtilis* subsp. *Spizizenii* ont réduit la sévérité de la maladie de pourriture racinaire dû *S. rolfssii* de plus de 50 % et ces souches ont permis la stimulation de la croissance des plantes de haricots dans des essais sous serres.

Les résultats de nos essais ont révélé que la souche NC318 a permis la stimulation de la croissance des plantes de betteraves sucrières. Une amélioration des paramètres de croissance (le poids des plantes fraîches, le poids des racines fraîches, la longueur des pousses et le nombre de feuilles) a été enregistrée. Dans la littérature, plusieurs souches de *B. velezensis* ont déjà été signalées comme des rhizobactérie favorisant la croissance des plantes (PGPR) entre autres, *B. velezensis* BAC03 sur culture de radis (Meng *et al.*, 2016), *B. velezensis* CMRP 4490 sur culture de soja (Teixeira *et al.*, 2021) et *B. velezensis* NKG-2 sur culture de tomate (Myo *et al.*, 2019). Les mécanismes impliqués dans la stimulation de la croissance des plantes sont liés aux métabolites secondaires et/ou aux composés volatiles organiques qu'ils produisent qui sont également impliqués dans l'induction des mécanismes de défense (Gond *et al.*, 2015). Dans les études précédentes, il a été démontré que la souche NC318 produit de puissants composés antifongiques entre autres la surfactine, l'iturine, la fengycine et la bacillibactine. Ces composés ont été signalées dans plusieurs études comme étant des inducteurs et des activateurs des mécanismes de la résistance systémique et de la stimulation de la croissance des plantes (Rabbee *et al.*, 2019). Les résultats obtenus montrent que la souche NC318 a un grand potentiel pour être utilisée comme agent de biocontrôle dans la lutte contre la pourriture causée par *S. rolfssii*.

## CONCLUSION

Cette étude a décrit que la souche NC318 de *B. velezensis* a permis le biocontrôle de la pourriture racinaire de la betterave à sucre dû à *S. rolfssii*. Le traitement des plants par bactérisation des semences et/ou traitement du sol par une suspension de la souche NC318 a réduit significativement l'incidence et la sévérité de la maladie *in vivo* sur plants en pots sous serre en plus de sa capacité de stimuler de la croissance des plantes de betteraves sucrières. À l'avenir, des essais au champ devraient être menés pour préciser le mode d'application de l'antagoniste et étudier le potentiel antagoniste de la souche NC318 contre la pourriture racinaire de la betterave causée par *S. rolfssii* dans les conditions réelles de terrain.

## RÉFÉRENCES

- Alamri S.A. (2015). Enhancing the efficiency of the bioagent *Bacillus subtilis* JF419701 against soil-borne phytopathogens by increasing the productivity of fungal cell wall degrading enzymes. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 48: 159-170.
- Bidima M.G.S., Chtaina N., Ezzahiri B., El Guilli M. (2021). Evaluation of the Antagonistic Potential of bacterial strains isolated from Moroccan soils for the biological control of *Sclerotium rolfsii* Sacc. *International Journal of Food Science and Agriculture*, 5: 608-616.
- Carmona-Hernandez S., Reyes-Pérez J.J., Chiquito-Contreras R.G., Rincon-Enriquez G., Cerdan-Cabrera C.R., Hernandez-Montiel L.G. (2019). Biocontrol of postharvest fruit fungal diseases by bacterial antagonists: a review. *Agronomy*, 9: 121.
- Caulier S., Gillis A., Colau G., Licciardi F., Liépin M., Desoignes N., Modrie P., Legrève A., Mahillon J., Bragard C. (2018). Versatile antagonistic activities of soil-borne *Bacillus* spp. and *Pseudomonas* spp. against *Phytophthora infestans* and other potato pathogens. *Frontiers in microbiology*, 9: 143.
- Chen L., Wu Y.D., Chong X.Y., Xin Q.H., Wang D.X., Bian K. (2020). Seed-borne endophytic *Bacillus velezensis* LHSB1 mediate the biocontrol of peanut stem rot caused by *Sclerotium rolfsii*. *Journal of Applied Microbiology*, 128: 803-813.
- Dawar S., Wahab S., Tari, M., Zaki M. J. (2010). Application of *Bacillus* species in the control of root rot diseases of crop plants. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 43: 412-418.
- Ezzahiri B. (2021). Guide de protection phytosanitaire de la betterave à sucre au Maroc. *Dar Qalam*, 204.
- Gholami M., Khakvar R., Niknam G. (2014). Introduction of some new endophytic bacteria from *Bacillus* and *Streptomyces* genera as successful biocontrol agents against *Sclerotium rolfsii*. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 47: 122-130.
- Gond S. K., Bergen M. S., Torres M. S., White Jr J. F. (2015). Endophytic *Bacillus* spp. produce antifungal lipopeptides and induce host defense gene expression in maize. *Microbiological research*, 172: 79-87.
- Karimi E., Safaie N., Shams-Baksh M., Mahmoudi B. (2016). *Bacillus amyloliquefaciens* SB14 from rhizosphere alleviates *Rhizoctonia* damping-off disease on sugar beet. *Microbiological research*, 192: 221-230.
- Khattabi N., Oihabi A., Louali L., Ezzahiri B. (2004). Antagonistic Activity of *Trichoderma* Isolates against *Sclerotium rolfsii*: Screening of Efficient Isolates from Morocco Soils for Biological Control. *Phytopathologia Mediterranea*, 1000-1009.
- Lengai G.M., Muthomi J. W. (2018). Biopesticides and their role in sustainable agricultural production. *Journal of Biosciences and Medicines*, 6: 7.
- Leoni C., Ter Braak C. J., Gilsanz J. C., Dogliotti S., Rossing W. A., Van Bruggen A. H. (2014). *Sclerotium rolfsii* dynamics in soil as affected by crop sequences. *Applied soil ecology*, 75: 95-105.
- McFadden W., Hall R., Phillips L. G. (1989). Relation of initial inoculum density to severity of *Fusarium* root rot of white bean in commercial fields. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 11: 122-126.
- Meng Q., Jiang H., Hao J. J. (2016). Effects of *Bacillus velezensis* strain BAC03 in promoting plant growth. *Biological Control*, 98: 18-26.
- Mutlu A., Kaspar C., Becker N., Bischofs I. B. (2020). A spore quality–quantity tradeoff favors diverse sporulation strategies in *Bacillus subtilis*. *The International Society for Microbial Ecology*, 14: 2703-2714.
- Myo E.M., Liu B., Ma J., Shi L., Jiang M., Zhang K., Ge B. (2019). Evaluation of *Bacillus velezensis* NKG-2 for bio-control activities against fungal diseases and potential plant growth promotion. *Biological Control*, 134: 23-31.
- ONSSA : Office National de Sécurité Sanitaire des Produits Alimentaires. (2022). Index phytosanitaire. (Cité le 08 Août 2022). Disponible sur : <http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx>
- Paramasivan M., Thaveedu S., Jhonson I., Karthikeyan M. (2019). Screening of rhizosphere and phylloplane bacterial antagonist against *Sclerotium rolfsii* (Sacc.) in tropical sugar beet ecosystems. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 6: 947-952.
- Punja Z.K. (1985). The biology, ecology, and control of *Sclerotium rolfsii*. *Annual Review of Phytopathology*, 23: 97-127.
- Rabbee M.F., Ali M.D., Choi J., Hwang B.S., Jeong S.C., Baek K.H. (2019). *Bacillus velezensis*: a valuable member of bioactive molecules within plant microbiomes. *Molecules*, 24: 1046.
- Redani L. (2015). Compétitivité, valorisation des ressources et objectifs de sécurité alimentaire pour la filière sucrière au Maroc. Thèse de doctorat. Gembloux Agro-Bio Tech Université de Liège, Gembloux (Belgique), 166.
- Teixeira G.M., Mosela M., Nicoletto M.L.A., Ribeiro R.A., Hungria M., Youssef K., Higashi A.Y., Mian S., Perreira A.S. De Oliveira A.G. (2021). Genomic insights into the antifungal activity and plant growth-promoting ability in *Bacillus velezensis* CMRP 4490. *Frontiers in microbiology*, 11: 3495.
- Tiago I., Teixeira I., Silva S., Chung P., Verissimo A., Manaia C.M. (2004). Metabolic and genetic diversity of mesophilic and thermophilic bacteria isolated from composted municipal sludge on poly- $\epsilon$ -caprolactones. *Current Microbiology*, 49: 407-414.

# Évaluation de la productivité de cinq cultivars de bananiers associés aux légumineuses arborescentes à Kinshasa, RD Congo

Jean Christian BANGATA BITHA NYI MBUNZU<sup>1\*</sup>, Patrick MOBAMBO KITUME NGONGO<sup>1</sup>

(Reçu le 03/09/2022; Accepté le 06/11/2022)

## Résumé

L'objectif de ce travail était de chercher à améliorer la production des bananes et plantains dans les conditions de plateau de Batéké et visait à travers différentes associations d'essences de légumineuses arborescentes avec cinq cultivars de bananiers, en vue d'identifier la meilleure combinaison à recommander aux producteurs dans le système sylvo-banancier. Suivant un dispositif factoriel (cultivars de bananiers et essences légumineuses), nous avons alternativement associé cinq cultivars de bananiers (un cultivar de bananier dessert (AAA) (Gros Michel) et quatre cultivars de plantains (AAB) (Bubi, Diyimba, Ndongila et Nsikumuna) avec quatre légumineuses arborescentes (*Milletia laurentii*, *Acacia auriculiformis* Benth, *Inga edulis* Mart et *Pterocarpus indicus* Willd), plantées une année avant la mise en place des bananiers. Au regard des résultats obtenus avec les systèmes sylvo-bananiers étudiés, les associations Nsikumuna - *Pterocarpus indicus* Willd et Gros Michel - *Milletia laurentii* se sont révélées plus performantes comparativement aux autres associations, surtout celles formées avec les légumineuses *Inga edulis* et *Acacia auriculiformis* qui ont produit les plus faibles résultats. Ainsi, ces premières combinaisons peuvent être recommandées aux producteurs de Kinshasa et ses environs, en vue de rentabiliser la production du bananier au plateau de Batéké.

**Mots clés:** Agro-écosystèmes, Légumineuses arborescentes, Bananiers, Productivité, Kinshasa

## Evaluation of the productivity of five banana cultivars associated with legume trees in Kinshasa (RDC)

### Abstract

The objective of this work was to improve banana production under the conditions of the Batéké plateau and aimed at comparing different leguminous species associations with five banana cultivars, in order to identify the best combination to recommend to producers in the silvo-banana system. Using the bifactorial design (Banana cultivars and leguminous species), we alternately associated five banana cultivars [one dessert banana cultivar (AAA), Gros Michel and four plantain cultivars (AAB) including Bubi, Diyimba, Ndongila and Nsikumuna] with four legume trees (*Milletia laurentii*, *Acacia auriculiformis* Benth, *Inga edulis* Mart and *Pterocarpus indicus* Willd), planted one year prior to the establishment of the banana trees. With regard to the results obtained with the studied silvo-banana systems, it is worth noting that the Nsikumuna - *Pterocarpus indicus* Willd and Gros Michel - *Milletia laurentii* associations proved to be more efficient than the other associations, especially those formed with the leguminous plants *Inga edulis* and *Acacia auriculiformis*, where the lowest results were obtained. Thus, these first two combinations can be recommended to the producers of Kinshasa and its surroundings, in order to make banana production in the Batéké plateau more profitable.

**Keywords:** Banana, Legume trees, Agro-ecosystem, Kinshasa

## INTRODUCTION

Selon l'Organisation des Nations-Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, la banane représente l'un des produits de base de l'alimentation des populations en Afrique centrale avec 35% d'apports en calories. Elle occupe plus de 50% de la population active rurale, et contribue significativement au PIB de cette région. Les bananes desserts et les plantains contribuent à la sécurité alimentaire de millions de personnes dans la zone intertropicale du monde et les profits générés par leur culture sont estimés à plus de 50 milliards de dollars américains en 2017 (Ondh-Obame *et al.*, 2020).

En RDC, le bananier est parmi les cultures alimentaires les plus importants. Avec une production annuelle de 1.960.960 tonnes en 2011, le bananier occupe la troisième place dans la production nationale après le manioc et le maïs (FAOSTAT, 2012).

La banane plantain est essentiellement produite au sein d'exploitations familiales agricoles, avec des systèmes de production souvent extensifs du point de vue de l'usage d'intrants ou de la mécanisation, dans des systèmes de culture complexes. L'amélioration durable des performances productives de ces systèmes impose d'innover. La notion de durabilité renvoie à la prise en compte d'impacts sur les ressources écologiques (biodiversité, fertilité, déforestation) et sur les conditions sociales des modes de production basés principalement sur l'agriculture familiale. L'innovation en

agriculture fait référence à l'utilisation par les agriculteurs de connaissances scientifiques, de techniques, de nouveautés (intrants, variétés) souvent produites par la recherche agronomique (Kwa et Temple, 2019).

Plusieurs millions d'exploitations cultivent des plantains en association avec d'autres cultures vivrières dont notamment macabo, taro, manioc, patates, légumes et légumineuses vivrières. Il est cultivé principalement dans de petites structures de production et dans des associations de cultures diverses qui varient selon les régions. Les agriculteurs privilégient des techniques qui minimisent l'usage d'intrants phytosanitaires chimiques. L'intensification pour accroître la production avec une gestion durable des ressources de l'écosystème implique des capacités à mobiliser les connaissances de la recherche scientifique (Kwa et Temple 2019). A cet effet, deux questions méritent attention: quelle est l'essence de légumineuse qui serait performante dans le système sylvo bananier dans les conditions de plateau de Batéké? Quel cultivar produirait mieux dans ces différents agro-écosystèmes?

L'utilisation d'une légumineuse à croissance rapide, donnant la biomasse foliaire abondante pourrait être plus performante dans le système sylvo-banancier avec un cultivar de bonne croissance pouvant conduire à une bonne production des bananes dans les conditions de Kinshasa et ses environs.

<sup>1</sup> Département de Phytotechnie, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Kinshasa, RDC

L'objectif général de cette étude est l'amélioration de la production des bananes dans les conditions de plateau de Batéké. Spécifiquement, ce travail vise à comparer les différentes associations de légumineuses arborescentes avec cinq cultivars de bananiers en vue d'identifier celles qui seront performantes dans la production de bananes en conditions de plateau de Batéké.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Milieu

Notre essai expérimental a été installé au plateau des Batéké, au village Mpuku N'sele, à environ 130 Km du centre-ville de Kinshasa. Les coordonnées géographiques sont les suivants: 4° 30' 36,470" de latitude sud, 15° 55' 7,251" de longitude Est, et à 472 m d'altitudes. Dans son ensemble, le climat du plateau de Batéké, comme celui de la ville de Kinshasa est du type Aw4 suivant la classification de Köppen. C'est un climat tropical humide soudanien avec deux saisons bien contrastées; une saison sèche qui s'étend de mi-mai à mi-septembre et une saison humide qui débute à la mi-septembre pour s'achever à la mi-mai.

**Température:** La température moyenne annuelle est de 26°C. Elle diminue durant la saison sèche de juin-août, avec une moyenne de 24°C et elle augmente de 0.5°C pendant la saison des pluies. La température maximale moyenne mensuelle est de 30°C, avec un maximum absolu de 39°C, tandis que la température minimale moyenne mensuelle est de 19,5°C durant la saison sèche avec un minimum absolu de 14,5°C (relevés de terrain) (Nsombo, 2016).

**Insolation:** L'insolation est suffisamment élevée avec une durée annuelle atteignant 1 838 heures. Elle est basse en saison sèche à cause de la couverture nuageuse et est plus élevée au début de la saison de pluie, avec 194 heures en octobre; la moyenne mensuelle est de 116 heures (Nsombo, 2016).

**Pluviométrie:** Les précipitations ont une double périodicité avec des maxima aux mois d'avril et de novembre et une courte sécheresse entre janvier et février. La période la plus sèche est le mois de juillet où souvent on enregistre zéro mm de pluie; tandis que novembre est le mois le plus pluvieux avec des hauteurs des pluies atteignant facilement 242 mm. La moyenne annuelle est de 1561 mm.

Les pluies et les nappes aquifères sont les deux sources principales naturelles de l'eau du sol. Au plateau des Batéké, la seconde source ne joue pratiquement aucun rôle, car elle se situe à de très grandes profondeurs (environ 140 m). Les rivières étant très encaissées, il en résulte que le problème d'eau se pose avec acuité dans cette contrée, à l'exception de quelques dépressions (Nsombo, 2016).

**Humidité relative:** L'humidité relative moyenne atteint 90% pendant la nuit et décroît à 50 % durant le temps chaud de la journée. La moyenne journalière oscille autour de

80%. Cette humidité atmosphérique élevée se maintient au cours de la saison sèche à cause des brouillards qui règnent pendant cette période aux petites heures matinales.

**Évapotranspiration:** L'évapotranspiration annuelle varie entre 1237 et 1340 mm. La variation mensuelle saisonnière observée est maximale à la fin de la saison des pluies avec 119 mm au mois de mars. Elle est la plus faible pendant la saison sèche avec 88.8 mm au mois de juillet, consécutive à la diminution de la température et de l'insolation (Nsombo, 2016).

Au plateau des Batéké, le sol est sableux friable, et à faible capacité de rétention d'eau. Dans un tel sol, le seul élément capable de retenir l'eau, de garder l'humidité est la matière organique. Sous les plantations d'*Acacia* sp ou sous les galeries forestières, la teneur en matière organique est relativement élevée et la litière forme une couche de plus de 5 cm. Par contre sous formation herbeuse, où les feux de brousse sont quasi annuels, la litière est presque inexistante (Nsombo, 2016).

L'essai a été mené au cours de la période allant de 15 octobre 2019 au 15 septembre 2021, faisant ainsi une année et onze mois d'expérimentation.

### Matériel

Nous avons utilisé quatre légumineuses arborescentes: *Milletia laurentii*, *Acacia auriculiformis* Benth, *Inga edulis* Mart. et *Pterocarpus indicus* Willd Graham in Wallich Kuntze, plantées une année avant la mise en place des bananiers. Les semences de ces légumineuses avaient été fournies par le Jardin Botanique de Kisantu dans le Kongo-Central. Pour les bananiers, nous avons utilisé un cultivar de bananier dessert (AAA), Gros Michel et quatre cultivars de plantains (AAB), Bubi, Diyimba, Ndongila (tous trois du type French) et Nsikumuna (de type Faux corne) (Tableau 1).

Ces bananiers ont été fournis par le projet Biodiversity International en provenance de l'INERA M'vuazi dans la province du Kongo-Central.

### Méthodes

Le dispositif expérimental adopté au cours de notre expérimentation était le dispositif factoriel (essences forestières et cultivars de bananiers) avec 3 blocs. Chaque bloc représentant une répétition.

Le champ expérimental a une superficie de 10 800 m<sup>2</sup>, soit 120 m de longueur et 90 m de largeur. Les dimensions des parcelles sont de 30 m en tous sens, ce qui a fait une superficie de 900 m<sup>2</sup>. Chaque parcelle comptait 25 plantes des essences forestières disposées aux écartements de 6 m x 6 m, intercalées de 92 plantes de plantain entre les lignes des essences forestières, disposées aux écartements de 3 m x 2 m, soit au total 75 plantes d'essences forestières transplantées, avec au total 276 plantes de plantain installées aux écartements de 3 m x 2 m pour chaque agro-écosystème.

Tableau 1: Caractéristiques des cultivars utilisés

Cultivar de bananier	Hauteur (cm)	Cycle Végétatif (jours)	Poids du régime (kg)	Nombre de mains par régime	Nombre de Doigts par régime	Poids Moyen du doigt (gr)	Diamètre au collet (cm)
Bubi	280	360 à 390	19	5 – 8	67 – 92	241	59
Diyimba	300	360 - 390	10 – 15	5 – 7	25 – 31	377 - 380	60 -70
Ndongila	230 à 330	400 - 450	29 – 30	7 – 8	98 – 135	227 - 230	70
Nsikumuna	450	540 – 720	45	18 – 22	85 – 120	215 - 216	95
Gros Michel	> 330	360 – 400	26 – 30	7 – 10	101 – 143	210 - 220	80 - 90

Source: INERA, 2009

## Techniques culturales

La préparation du terrain avait commencé par le labour et le hersage qui ont été effectués à l'aide d'un tracteur agricole suivi de la délimitation des blocs, des parcelles et le piquetage des lignes de plantation. Après avoir préparé le terrain, nous avons procédé par la trouaison des poquets aux dimensions de 40 cm x 40 cm x 40 cm, des différentes parcelles et par répétition et nous avons amendé à raison de 10 kg de bouse de vaches par poquet. Cette opération a été réalisée deux semaines après l'amendement, répétition par répétition. L'entretien consistait à faire le regarnissage des vides suivant les répétitions, le paillage autour de chaque pied, le sarclage, l'effeuillage régulier et l'élagage des essences forestières.

## Paramètres végétatifs

Les paramètres végétatifs mesurés sont la hauteur de la plante mère à la floraison (m), le diamètre au collet du pied mère à la floraison (cm), le nombre des rejets successeurs par pied, le nombre de feuilles vertes du pied mère, la hauteur de rejet fils (plus grand rejet) (m), la surface foliaire (cm<sup>2</sup>), le nombre de feuilles vertes du rejet fils, 50% de floraison ainsi que le cycle végétatif (date de récolte).

Nous avons prélevé la hauteur de la plante mère et celle du rejet fils à l'aide de mètre ruban. Ceci se faisait du collet jusqu'à l'insertion du pétiole de la dernière feuille déployée. Le diamètre au collet a été mesuré par le mètre ruban, à 10 centimètres du sol et en divisant la valeur obtenue de la circonférence par deux. La surface foliaire a été mesurée par le mètre ruban, en multipliant la longueur par la largeur et par 0,8 qui est le coefficient de correction. Le nombre de feuilles vertes du pied mère, et celui du rejets fils se comptaient manuellement.

## Paramètres de production

Comme paramètres de production, nous avons comparé le poids de régime, le nombre des mains par régime, le nombre de doigts par main et le rendement estimatif de différents cultivars de bananiers installés dans différents agro-écosystèmes. Les résultats ont été obtenus au moyen

d'une analyse ANOVA au seuil de probabilité de 5%. Le test de la plus petite différence significative (PPDS) a été utilisé en vue de comparer les résultats de différentes associations légumineuses-cultivars sur le plan croissance et production dans les conditions du plateau des Batéké.

## RÉSULTATS

### Hauteur de pieds mères

La hauteur des plants la plus élevée a été obtenue avec les pieds mères de bananier issus des associations Nsikumuna - *Pterocarpus indicus* Willd et Gros Michel - *Millettia laurentii*, avec de valeurs moyennes respectivement de 3,8 m et de 3,5 m (Tableau 2). Par contre, la hauteur la plus faible a été observée avec les associations Bubi - *Acacia auriculiformis* (2,0 m), Ndongila - *Acacia auriculiformis* (2,0 m), Bubi - *Inga edulis* (2,1 m) et Diyimba - *Acacia auriculiformis* (2,1 m).

En outre, les espèces *Pterocarpus indicus* Willd et *Millettia laurentii* sont de légumineuses qui ont les plus influé significativement sur la croissance en hauteur de cultivars de bananiers mis en association, et plus particulièrement sur les cultivars Nsikumuna et Gros Michel (Tableau 2).

### Diamètre au collet des pieds mères

Contrairement à la hauteur des plantes, le diamètre au collet le plus élevé a été enregistré avec les pieds mères de bananier du cultivar Gros-Michel, en association avec la légumineuse arborescente *Pterocarpus indicus* Willd (37,3 cm), suivi de ceux formés par les combinaisons Diyimba - *Millettia laurentii* (33,8 cm), Nsikumuna - *Pterocarpus indicus* Willd (33,8 cm) et Gros Michel - *Millettia laurentii* (32,7 cm) (Tableau 3). Cependant, le plus faible diamètre au collet a été enregistré avec les pieds mères de bananiers du cultivar Bubi associés avec les espèces *Acacia auriculiformis* (21,0 cm), *Inga edulis* (21,7 cm) et *Millettia laurentii* (22,6 cm).

Et tout comme pour la croissance en hauteur de cultivars de bananiers mis en association, les espèces *Pterocarpus indicus* Willd et *Millettia laurentii* ont aussi influé significativement la croissance en diamètre de bananiers plus que

**Tableau 2: Les résultats relatifs à la hauteur de pieds mères de cinq cultivars de bananiers associés à quatre légumineuses arborescentes**

Cultivars de bananier Légumineuses	Bubi (m)	Diyimba (m)	Nsikumuna (m)	Ndongila (m)	Gros Michel (m)
<i>Pterocarpus indicus</i> Willd	2,5 ± 0,3 a	3,0 ± 0,4 a	3,8 ± 0,5 a	2,7 ± 0,3 a	3,2 ± 0,4 a
<i>Millettia laurentii</i>	2,2 ± 0,2 b	2,9 ± 0,3 a	2,7 ± 0,2 c	2,4 ± 0,2 ab	3,5 ± 0,6 a
<i>Inga edulis</i>	2,1 ± 0,4 b	2,4 ± 0,6 b	3,3 ± 0,4 b	2,2 ± 0,3 b	2,5 ± 0,4 b
<i>Acacia auriculiformis</i>	2,0 ± 0,3 b	2,1 ± 0,3 b	3,0 ± 0,3 c	2,0 ± 0,1 b	2,3 ± 0,3 b

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne ± écarts types des moyennes. Les valeurs affectées d'une même lettre sur la colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 %.

**Tableau 3: Diamètre au collet de pieds mères de cinq cultivars de bananiers associés à quatre légumineuses arborescentes**

Cultivars de bananier Légumineuses	Bubi (cm)	Diyimba (cm)	Nsikumuna (cm)	Ndongila (cm)	Gros Michel (cm)
<i>Pterocarpus indicus</i> Willd	24,7 ± 1,6a	28,7 ± 2,7b	33,7 ± 2,8 a	30,0 ± 2,3a	37,3 ± 2,1 a
<i>Millettia laurentii</i>	22,6 ± 1,9ab	33,8 ± 2,9a	27,2 ± 2,1b	26,2 ± 2,8b	32,7 ± 2,9b
<i>Inga edulis</i>	21,7 ± 1,7ab	25,9 ± 2,2bc	31,0 ± 2,4a	24,0 ± 1,7c	32,3 ± 2,4b
<i>Acacia auriculiformis</i>	21,0 ± 1,5ab	25,2 ± 1,8bc	28,6 ± 2,6b	22,8 ± 1,9c	29,3 ± 2,2c

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne ± écarts types des moyennes. Les valeurs affectées d'une même lettre sur la colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 %.

toutes les autres légumineuses (Tableau 3).

### Nombre de rejets successeurs

Le nombre de rejets successeurs le plus élevé a été observé chez les plantes de bananiers des associations Gros Michel - *Inga edulis* (8,3 rejets successeurs) et Diyimba - *Millettia laurentii* (8 rejets successeurs) suivis des combinaisons Gros-Michel - *Pterocarpus indicus* Willd et Gros-Michel - *Acacia auriculiformis* (Tableau 4). Par contre, le nombre de rejets successeurs le plus bas a été enregistré chez les plantes de bananier de l'association Bubi - *Acacia auriculiformis* (1,3 rejets successeurs) suivi de celles issues des associations Bubi - *Inga edulis* (2,3 rejets successeurs), Diyimba - *Acacia auriculiformis* (2,3 rejets successeurs), Nsikumuna - *Acacia auriculiformis* (2,3 rejets successeurs).

Contrairement aux deux premiers paramètres, l'espèce légumineuse *Inga edulis* est celle qui a influencé significativement la production de rejets successeurs, avec un record de 8,3 rejets successeurs en association avec le cultivar Gros Michel suivi de *Millettia laurentii*, avec une production de 8 rejets successeurs en association en association avec le cultivar Diyimba.

### Hauteur de rejets fils

La hauteur la plus élevée a été obtenue avec les rejets fils issus de l'association Gros Michel - *Pterocarpus indicus* Willd (77,3 cm) suivi de Bubi - *Pterocarpus indicus* Willd (66,0 cm) et Nsikumuna - *Pterocarpus indicus* Willd (65,0

cm) (Tableau 5). Néanmoins, la hauteur de rejets fils la plus faible a été observée chez les bananiers de l'association Ndongila - *Acacia auriculiformis* (21,1 cm) suivi de ces issus des associations Diyimba - *Acacia auriculiformis* (31,3 cm), Nsikumuna - *Acacia auriculiformis* (36,3 cm) et Bubi - *Acacia auriculiformis* (39,3 cm).

Les légumineuses *Pterocarpus indicus* Willd et *Millettia laurentii* ont aussi influencé significativement la croissance en hauteur de rejets fils de presque tous les cultivars de bananiers étudiés, sauf pour le cultivar Ndongila qui s'est mieux comporté en association avec *Inga edulis*.

### Surface foliaire de pieds mères

Par rapport à la surface foliaire de pieds mères de cinq cultivars de bananiers, il ressort du tableau 6 que le cultivar Ndongila, en association avec la légumineuse *Pterocarpus indicus* Willd, avait produit de feuilles ayant la plus grande surface foliaire (4793 cm<sup>2</sup>) suivi du cultivar Gros Michel en association avec *Pterocarpus indicus* Willd (4292 cm<sup>2</sup>). La surface foliaire la plus faible a été observée chez le cultivar Diyimba, en association avec les légumineuses *Acacia auriculiformis* (2429 cm<sup>2</sup>) et *Inga edulis* (2896,6 cm<sup>2</sup>).

### Nombre de feuilles vertes de pieds mères

Le nombre de feuilles vertes produit par pied mère (Tableau 7) montre que le cultivar Gros Michel, en association avec la légumineuse *Inga edulis* avait produit le plus grand nombre des feuilles vertes (6,6 feuilles) suivi des cultivars

**Tableau 4: Nombre de rejets successeurs de bananiers associés à quatre légumineuses arborescentes**

Cultivars de bananier Légumineuses	Bubi (Nbre rejet)	Diyimba (Nbre rejet)	Nsikumuna (Nbre rejet)	Ndongila (Nbre de rejet)	Gros Michel (Nbre de rejet)
<i>Pterocarpus indicus</i> Willd	4,0 ± 1,2a	3,6 ± 1,2b	4,6 ± 1,3a	3,6 ± 1,1b	7,6 ± 1,9ab
<i>Millettia laurentii</i>	3,0 ± 1,1ab	8,0 ± 2,2a	3,3 ± 1,2b	3,3 ± 0,9b	4,3 ± 1,4c
<i>Inga edulis</i>	2,3 ± 0,6b	3,6 ± 1,9b	2,6 ± 1,1c	4,6 ± 1,4a	8,3 ± 2,2a
<i>Acacia auriculiformis</i>	1,3 ± 0,4c	2,3 ± 1,6c	2,3 ± 1,0cd	4,0 ± 1,2ab	7,0 ± 1,5b

**Tableau 5: Hauteur de rejets fils de cinq cultivars de bananiers associés à quatre légumineuses arborescentes**

Cultivars de bananier Légumineuses	Bubi (cm)	Diyimba (cm)	Nsikumuna (cm)	Ndongila (cm)	Gros Michel (cm)
<i>Pterocarpus indicus</i> Willd	66,0 ± 11,2a	62,0 ± 6,1a	65,7 ± 8,4a	61,3 ± 6,4b	77,3 ± 13,9a
<i>Millettia laurentii</i>	62,0 ± 9,3b	57,0 ± 6,5b	54,6 ± 10,8b	39,6 ± 16,3c	43,0 ± 17,5d
<i>Inga edulis</i>	56,6 ± 12,8c	52,9 ± 9,9c	49,0 ± 12,8c	64,4 ± 5,3a	56,0 ± 14,1c
<i>Acacia auriculiformis</i>	39,3 ± 19,7d	31,3 ± 21,7d	36,3 ± 16,6d	21,1 ± 19,0d	62,0 ± 16,3b

**Tableau 6: Surface foliaire de pieds mères de bananiers associés à quatre légumineuses arborescentes**

Cultivars de bananier Légumineuses	Bubi (cm <sup>2</sup> )	Diyimba (cm <sup>2</sup> )	Nsikumuna (cm <sup>2</sup> )	Ndongila (cm <sup>2</sup> )	Gros Michel (cm <sup>2</sup> )
<i>P. acuminatus acuminatus</i>	4234,0 ± 417,2a	3316,0 ± 312,3b	4145,3 ± 403,6a	4793,3 ± 423,1a	4292,0 ± 401,3b
<i>Millettia laurentii</i>	3881,3 ± 396,4b	4231,3 ± 336,7a	3153,0b ± 377,4c	3419,3 ± 463,7c	3804,6 ± 452,8cd
<i>Inga edulis</i>	3240,0 ± 389,1c	2896,6 ± 373,5c	3423,0 ± 369,8b	4106,6 ± 411,9b	3585,0 ± 399,7d
A. <i>Acacia auriculiformis</i>	3647,3 ± 422,0bc	2429,0 ± 395,1d	3468,3 ± 388,7b	3175,0 ± 462,4cd	3210,3 ± 441,5d

**Tableau 7: Nombre de feuille verte de pieds mères de bananiers associés à quatre légumineuses arborescentes**

Cultivars de bananier Légumineuses	Bubi (Nbre feuilles)	Diyimba (Nbre feuilles)	Nsikumuna (Nbre feuilles)	Ndongila (Nbre feuilles)	Gros Michel (Nbre feuilles)
<i>Pterocarpus indicus</i> Willd	4,6 ± 1,1a	4,6 ± 1,1b	6,3 ± 1,7a	6,3 ± 1,8a	6,0 ± 1,8a
<i>Millettia laurentii</i>	4,6 ± 1,1a	6,0 ± 1,7a	4,0 ± 1,2b	6,0 ± 1,7a	5,6 ± 1,4ab
<i>Inga edulis</i>	3,3 ± 0,9b	3,6 ± 0,9bc	4,3 ± 1,2b	4,3 ± 1,2b	6,6 ± 2,0a
<i>Acacia auriculiformis</i>	3,0 ± 0,8b	2,6 ± 0,7c	3,6 ± 0,9bc	5,6 ± 1,4ab	5,0 ± 1,2b

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne ± écarts types des moyennes. Les valeurs affectées d'une même lettre sur la colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 %.



Nsikumuna et Ndongila, en association avec *Pterocarpus indicus* Willd (6,3 feuilles). Le nombre des feuilles vertes le plus faible a été observé avec le cultivar Diyimba, avec 2,6 feuilles vertes en association avec la légumineuse *Acacia auriculiformis* ainsi que le cultivar Bubi en association avec les légumineuses *Acacia auriculiformis* (3 feuilles vertes) et *Inga edulis* (3,3 feuilles vertes).

#### Nombre de feuilles de rejets fils

Le nombre de feuilles produites par les rejets fils des cinq cultivars de bananiers (Tableau 8) a montré que le cultivar Gros Michel, en association avec la légumineuse *Pterocarpus indicus* Willd, avait des rejets avec le plus grand nombre des feuilles (9 feuilles) suivi des cultivars Diyimba, en association avec *Millettia laurentii* (8,3 feuilles). Le nombre des feuilles le plus faible a été observé avec les rejets fils du cultivar Diyimba, en association avec les légumineuses *Acacia auriculiformis* (1,6 feuilles) et *Inga edulis* (2,6 feuilles) ainsi que le cultivar Bubi, en association avec les légumineuses *Acacia auriculiformis* (2,6 feuilles) et *Inga edulis* (2,6 feuilles).

#### Date de 50% de floraison

Diyimba était le cultivar qui avait atteint 50% de floraison avant tous les autres, respectivement en association avec les légumineuses *Inga edulis* (329 jours), *Pterocarpus indicus* Willd (337 jours) et *Acacia auriculiformis* (337

jours) (Tableau 9). Les cultivars qui avaient atteint 50% de floraison après tous les autres sont Bubi, en association avec *Pterocarpus indicus* Willd (437 jours) et *Acacia auriculiformis* (437 jours) ainsi que Gros Michel, en association avec *Pterocarpus indicus* Willd (436 jours).

#### Cycle végétatif (jours)

Le cycle végétatif le plus long a été observé sur le cultivar Nsikumuna, respectivement en association avec les légumineuses *Pterocarpus indicus* Willd (559 jours) et *Inga edulis* (557 jours) ainsi que sur le cultivar Bubi, en association avec les légumineuses *Pterocarpus indicus* Willd (550 jours) et *Millettia laurentii* (550 jours) (Tableau 10). Le cycle végétatif le plus court a été enregistré sur le cultivar Diyimba, en association avec *Inga edulis* (438 jours).

#### Poids de régimes

Les poids des régimes les plus élevés ont été enregistrés sur le cultivar Nsikumuna, respectivement en association avec les légumineuses *Pterocarpus indicus* Willd (25,5 kg) et *Inga edulis* (23,2 kg) ainsi que sur le cultivar Gros Michel (24,8 kg), en association avec la légumineuse *Millettia laurentii* (Tableau 11). Cependant, les poids de régimes les plus faibles ont été respectivement enregistrés sur les cultivars Diyimba (7 kg) et Bubi (9 kg), en association avec la légumineuse *Acacia auriculiformis*.

**Tableau 8: Nombre de feuille de rejets fils de bananiers associés à quatre légumineuses arborescentes**

Cultivars de bananier Légumineuses	Bubi (Nombre)	Diyimba (Nombre)	Nsikumuna (Nombre)	Ndongila (Nombre)	Gros Michel (Nombre)
<i>Pterocarpus indicus</i> Willd	3,3 ± 0,4a	3,0 ± 0,3b	5,6 ± 1,1a	4,6 ± 1,1b	9,0 ± 2,3a
<i>Millettia laurentii</i>	2,6 ± 0,3ab	8,3 ± 3,0a	3,0 ± 0,9cd	4,0 ± 0,9bc	3,6 ± 0,7c
<i>Inga edulis</i>	2,6 ± 0,3ab	2,6 ± 0,2bc	4,6 ± 1,1b	6,3 ± 1,2a	7,6 ± 2,1b
<i>Acacia auriculiformis</i>	2,6 ± 0,3ab	1,6 ± 0,1c	3,6 ± 0,6c	3,6 ± 0,7bc	7,3 ± 1,9b

**Tableau 9: Nombre de jours à 50% de floraison de bananiers associés à quatre légumineuses arborescentes**

Cultivars de bananier Légumineuses	Bubi (Jour)	Diyimba (Jour)	Nsikumuna (Jour)	Ndongila (Jour)	Gros Michel (Jour)
<i>Pterocarpus indicus</i> Willd	437,0 ± 4,7a	337,0 ± 5,3a	429,0 ± 15,3a	387,0 ± 5,5a	346,0 ± 46,3b
<i>Millettia laurentii</i>	433,0 ± 4,8a	343,0 ± 6,2a	338,0 ± 12,1b	381,0 ± 5,3a	436,0 ± 43,2a
<i>Inga edulis</i>	431,0 ± 3,9a	329,0 ± 4,8b	430,0 ± 11,7a	375,0 ± 4,6b	340,0 ± 39,8b
<i>Acacia auriculiformis</i>	437,0 ± 4,7a	337,0 ± 5,3a	429,0 ± 15,3a	387,0 ± 5,5a	346,0 ± 46,3b

**Tableau 10: Cycle végétatif de bananiers associés à quatre légumineuses arborescentes**

Cultivars de bananier Légumineuses	Bubi (Jour)	Diyimba (Jour)	Nsikumuna (Jour)	Ndongila (Jour)	Gros Michel (Jour)
<i>Pterocarpus indicus</i> Willd	550,0 ± 4,8a	466,0 ± 51,3b	559,0 ± 52,9a	488,0 ± 5,7a	461,0 ± 25,3b
<i>Millettia laurentii</i>	544,0 ± 4,3b	452,0 ± 47,2c	446,0 ± 46,9c	486,0 ± 4,5a	524,0 ± 32,3a
<i>Inga edulis</i>	541,0 ± 4,0b	438,0 ± 44,8d	557,0 ± 48,4a	475,0 ± 4,1b	457,6 ± 21,6bc
<i>Acacia auriculiformis</i>	539,0 ± 3,8b	552,0 ± 45,4a	527,0 ± 41,8b	483,0 ± 5,2a	460,0 ± 24,9b

**Tableau 11: Poids de régimes de cinq cultivars de bananiers associés à quatre légumineuses arborescentes**

Cultivars de bananier Légumineuses	Bubi (kg)	Diyimba (kg)	Nsikumuna (kg)	Ndongila (kg)	Gros Michel (kg)
<i>Pterocarpus acuminatus</i>	14,8 ± 2,5a	11,7 ± 2,7b	25,5 ± 6,7a	16,0 ± 1,8a	16,8 ± 2,3b
<i>Millettia laurentii</i>	13,1 ± 2,3b	15,9 ± 3,8a	10,3 ± d	15,4 ± 1,4a	24,8 ± 4,7a
<i>Inga edulis</i>	11,3 ± 1,8c	9,6 ± 1,9c	23,2 ± 4,9b	14,7 ± 1,2ab	15,3 ± 2,1bc
<i>Acacia auriculiformis</i>	9,0 ± 1,1d	7,0 ± 0,8d	19,5 ± 2,6c	12,0 ± 1,0b	14,8 ± 1,6bc

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne ± écarts types des moyennes. Les valeurs affectées d'une même lettre sur la colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 %.

### Nombre de mains

Nsikumuna est le cultivar qui avait produit le plus grand nombre de mains (19 mains), en association avec *Pterocarpus indicus* Willd et *Inga edulis*, suivi du cultivar Gros Michel, en association avec *Millettia laurentii* (18 mains) (Tableau 12). Le nombre des mains le plus faible a été observé sur les cultivars Bubi, en association avec la légumineuse *Acacia auriculiformis* (5 mains) et *Inga edulis* (6 mains) ainsi que sur le cultivar Diyimba (6 mains), en association avec les légumineuses *Pterocarpus*, *Inga edulis* et *Acacia auriculiformis*.

### Nombre de doigts

Le nombre de doigts a eu une tendance identique au nombre de mains c'est-à-dire, Nsikumuna est resté le cultivar qui avait produit le plus grand nombre de doigts (102 doigts), en association avec *Pterocarpus indicus* Willd et *Inga edulis*, suivi du cultivar Gros Michel, en association avec *Millettia laurentii* (106 doigts) (Tableau 13). Le nombre des doigts le plus faible a été observé sur les cultivars Diyimba, en association avec la légumineuse *Acacia auriculiformis* (23 doigts) et *Inga edulis* (25 doigts).

### Rendement estimatif par hectare

En ce qui concerne les résultats relatifs au rendement de cinq cultivars de bananiers sous études, on peut noter que le rendement à l'hectare le plus élevé a été enregistré avec le cultivar Nsikumuna, avec des rendements de 30,9 t/ha et de 28 t/ha, respectivement en association avec les légumineuses *Pterocarpus indicus* Willd et *Inga edulis* (Tableau 14). Les plus faibles rendements à l'hectare ont été observés avec les cultivars Diyimba (8,6 t/ha et 11,5 t/ha) et Bubi (11,4 t/ha et 13,7 t/ha), en association respectivement avec les légumineuses *Acacia auriculiformis* et *Inga edulis*.

## DISCUSSION

Les résultats obtenus ont montré que le comportement de cultivars de bananiers a été influencé par les essences légumineuses associées. Cependant, ce comportement est fonction de cultivar et de la légumineuse associée. Par rapport aux cinq cultivars dans les différentes associations, les cultivars Nsikumuna et Gros Michel se sont révélés plus performants que les trois autres. Ce résultat se justifierait par leur identité génétique, car comparativement aux autres, ces deux cultivars présentent de caractéristiques plus intéressantes (INERA, 2008 et SENASEM, 2012 et 2019). Et cela pourrait aussi se justifier par l'amélioration des propriétés physico-chimiques du sol suite aux biomasses foliaires de ces deux essences légumineuses ainsi qu'à leur bonne capacité de fixation d'azote atmosphérique. Il a déjà été démontré par Akouehou *et al.* (2012) que les légumineuses améliorent la fertilité du sol par la fixation de l'azote et permettent dans une option agroforestière d'en produire suffisamment.

Nous avons aussi noté pour l'ensemble de paramètres évalués, que les résultats de tous les cultivars de bananiers mis en combinaison avec les légumineuses arborescentes sont inférieurs aux valeurs moyennes définies par l'INERA, en monoculture (cultures pures). Ceci peut s'expliquer par le fait que les bananiers avaient subi l'effet de l'ombrage. Ils avaient reçu peu de lumière qui est indispensable pour leur développement. D'après Champion (1963) et Ekstein *et al.* (1997), cité par Kibungu (2008), une lumière insuffisante réduit la circonférence et la hauteur, et par conséquent le poids du régime. On estime que l'insuffisance de la lumière a entraîné la réduction de l'activité photosynthétique. Cela a eu pour conséquence la réduction de la croissance de la plante et de certain de ces organes. C'est ce qui fait que les bananiers sous les essences légumineuses arborescentes ou

**Tableau 12: Nombre de mains de cinq cultivars de bananiers associés à quatre légumineuses arborescentes**

Cultivars de bananier Légumineuses	Bubi (Nbre mains)	Diyimba (Nbre mains)	Nsikumuna (Nbre mains)	Ndongila (Nbre mains)	Gros Michel (Nbre mains)
<i>Pterocarpus indicus</i> Willd	7 ± 1,0a	6 ± 0,8b	19 ± 5,7a	7 ± 0,0a	9 ± 2,4b
<i>Millettia laurentii</i>	7 ± 1,0a	8 ± 1,1a	7 ± 2,1c	7 ± 0,0a	18 ± 4,9a
<i>Inga edulis</i>	6 ± 0,7b	6 ± 0,7b	19 ± 5,7a	7 ± 0,0a	8 ± 2,1b
<i>Acacia auriculiformis</i>	5 ± 0,4c	6 ± 0,8b	17 ± 4,2b	7 ± 0,0a	8 ± 2,1b

**Tableau 13: Nombre de doigts de cinq cultivars de bananiers associés à quatre légumineuses arborescentes**

Cultivars de bananier Légumineuses	Bubi (Nbre doigts)	Diyimba (Nbre doigts)	Nsikumuna (Nbre doigts)	Ndongila (Nbre doigts)	Gros Michel (Nbre doigts)
<i>Pterocarpus indicus</i> Willd	72 ± 2,3a	26 ± 11,3b	108 ± 40,1a	99 ± 0,7a	102 ± 3,1b
<i>Millettia laurentii</i>	72 ± 2,3a	100 ± 37,7a	26 ± 16,4c	98 ± 0,5a	106 ± 3,4a
<i>Inga edulis</i>	68 ± 1,9b	25 ± 9,8b	108 ± 40,1a	98 ± 0,5a	100 ± 2,8c
<i>Acacia auriculiformis</i>	68 ± 1,9b	23 ± 9,4bc	102 ± 41,2b	98 ± 0,5a	98 ± 2,5d

**Tableau 14: Rendement estimatif de cinq cultivars de bananiers associés à quatre légumineuses arborescentes**

Cultivars de bananier Légumineuses	Bubi (t/ha)	Diyimba (t/ha)	Nsikumuna (t/ha)	Ndongila (t/ha)	Gros Michel (t/ha)
<i>Pterocarpus indicus</i> Willd	17,9 ± 2,8a	14,2 ± 3,1b	30,9 ± 8,1a	19,1 ± 2,0a	20,2 ± 1,0b
<i>Millettia laurentii</i>	15,7 ± 2,3b	19,3 ± 4,5a	12,5 ± 2,1d	18,4 ± 1,7b	28,7 ± 1,2a
<i>Inga edulis</i>	13,7 ± 1,8c	11,5 ± 1,6c	28,0 ± 6,3b	17,7 ± 1,4bc	18,4 ± 0,7c
<i>Acacia auriculiformis</i>	11,4 ± 1,3d	8,6 ± 0,9d	23,5 ± 4,4c	14,6 ± 1,2c	17,8 ± 0,5c

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne ± écarts types des moyennes. Les valeurs affectées d'une même lettre sur la colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 %.

en association avec ces dernières, se sont révélés moins productifs que les bananiers en monoculture, mais aussi que le cycle végétatif des cultivars de bananiers soit plus prolongé. Par rapport aux légumineuses arborescentes mises en association avec les cultivars de bananiers, nous avons constaté que les essences *Pterocarpus indicus* Willd et *Millettia laurentii* ont plus influencé le comportement de cultivars de bananiers par rapport aux autres, mais surtout en association avec les cultivars Nsikumuna et Gros Michel (les associations Nsikumuna avec *Pterocarpus indicus* Willd ou *Millettia laurentii* et Gros Michel - *Millettia laurentii*). Cependant, l'espèce *Acacia auriculiformis* a moins influencé le comportement de tous les cultivars de bananiers, car les plus faibles résultats ont été obtenus sur presque toutes les associations formées avec l'*Acacia*. Cette situation pourrait s'expliquer par la vitesse de croissance et la production de biomasse de légumineuses arborescentes associées dans les différentes combinaisons. La croissance et le développement de ces mêmes légumineuses arborescentes avaient été comparativement évalués par Bangata *et al.* (2022), et les résultats obtenus avec l'espèce *Acacia auriculiformis*, en termes de croissance et de la production de biomasse étaient les plus spectaculaires. Il a aussi été démontré par d'autres chercheurs qu'*Acacia auriculiformis* est une essence à croissance rapide et produit une biomasse abondante (Akouèhou *et al.*, 2011 et 2012). Ainsi, nous pensons que la croissance rapide d'*Acacia* et son abondante biomasse pourraient causer un effet d'ombrage sur les bananiers, et par ricochet, réduire la performance de ce-derniers. Par son importante biomasse sous forme d'émondes et de litières, *Acacia auriculiformis* a aussi eu un impact potentiellement fort sur l'acidification du sol (Kasongo *et al.* 2009, 2010 et 2011 et Ponette *et al.* 2011). Lorsque ses feuilles tombent, elles se décomposent en acide humique et acidifient le sol (Wuenschel, 2019), ce qui ne serait pas bénéfique à la croissance de bananiers car il a été démontré par Yamashita *et al.* (2008) que l'acidification des sols (associée à d'autres changements) peut rendre les plantations moins productives et altérer la capacité des espèces natives à repeupler la zone par la suite.

Les travaux de Wang *et al.* (2010) ont démontré que l'*Acacia auriculiformis* est l'une des espèces ayant les taux les plus élevés de nitrification. Le processus de nitrification serait une des causes de l'acidification des sols occupés par l'*Acacia auriculiformis* (Kasongo *et al.*, 2009; Dufey & Delvaux, 2009). Or, la zone de productivité optimale de bananier se situe autour de la neutralité, entre 6 et 7 pour le pH (Vandenput, 1981).

## CONCLUSION

Le présent travail avait pour objectif l'amélioration de la production des bananes dans les conditions éco-climatiques de plateau des Batéké en comparant les différentes combinaisons sylvo-bananières, associations de légumineuses arborescentes avec cinq cultivars de bananiers en vue d'identifier celles qui sont performantes dans ces conditions agro-éco-climatiques de plateau des Bateke et pouvant être recommandées aux producteurs de Kinshasa et ses environs. Ces légumineuses arborescentes ont été transplantées une année avant la mise en place des bananiers.

Les résultats obtenus ont montré que par rapport aux cinq cultivars de bananiers étudiés dans les différentes asso-

ciations, les cultivars Nsikumuna et Gros Michel se sont révélés plus performants que les trois autres, surtout en association avec les légumineuses *Pterocarpus indicus* Willd et *Millettia laurentii* (les associations Nsikumuna avec *Pterocarpus indicus* Willd ou *Millettia laurentii* et Gros Michel - *Millettia laurentii*). Les résultats les plus élevés obtenus avec ces cultivars de bananiers se justifieraient par leur identité génétique et par l'amélioration des propriétés physico-chimiques du sol suite aux biomasses foliaires de ces deux essences légumineuses ainsi qu'à leur bonne capacité de fixation d'azote atmosphérique.

Au regard des résultats obtenus, il apparaît de manière claire que les associations Nsikumuna - *Pterocarpus indicus* Willd et Gros Michel - *Millettia laurentii* peuvent être utilisées comme meilleur agro-écosystème sylvo-bananières pour la production de bananiers dans les conditions de Kinshasa et ses environs.

## RÉFÉRENCES

- Akouehou S. G., Agbahungba G. A., Houndehin J., Mensah G. A., Sinsin B. A. (2011). Performance socio-économique du système Agroforestier à *Acacia auriculiformis* dans la Lama au sud du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 5: 1039-1046.
- Akouehou S. G., Djogbenou C. P., Hounsounou L. C., Goussanou A. C., Gbozo E., Agbangla G., Fandohan S., Agossou H., Mensah G. A. (2012). Fiche Technique: Production et valorisation en agroforesterie du bois de *Acacia auriculiformis* en zone guinéenne au Bénin. Bibliothèque National (BN) du Bénin, 18 p.
- Bangata J.B., Ngwibaba F.A., Ngenelo P.N., Mobambo P.K., (2022). Evaluation de croissance et de développement de douze essences forestières arborescentes au cours de leur première année d'installation à Kinshasa/Plateau de Bateke. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 16: 1423-1433.
- Baudoin J.P., Demol J., Louant B.P., Marechal R., Mergeai G., Otoul E., (2002). L'amélioration des Plantes. Application aux Principales Espèces Cultivées en Régions Tropicales. Les Presses Agronomiques de Gembloux, 252p.
- Champion J., (1967). Botanique et Génétique des bananiers. Notes et documents sur les bananiers et leur culture, IFAC, Ed. STECO, Paris, 214p.
- Dheda D., Nzawe B. D., Roux N., Ngezahayo F., Vigheri N., De Langhe E., Karamura D., Channelière S., Ruas M., Picq C. and Blomme G., (2009). Musa Collection and Characterization in Central and Eastern DR-Congo: a Chronological Overview. In ISHS/ProMusa banana symposium, Guangzhou, China. September 14-18, 2009. pp 12-13.
- Dufey J. et Delvaux B. (2009). Syllabus du cours de sciences du sol, volume 1 et 2. Université catholique de Louvain, faculté ingénierie biologique, agronomique et environnementale. Duc Diffusion universitaire CIACO.
- Eckstein K., Robinson J.C., Fraser C. (1997). Physiological responses of banana (Musa AAA; Cavendish sub-group) in the subtropics. VII. Effects of windbreak shading on phenology, physiology and yield. *Journal of Hort. Sci.*, 72: 389-396.
- Gianinazzi, S. S., Wipf, D. (2010). Des champignons au service des plantes. *PHM Revue Horticole*, 521: 9-11.
- Gold C.S., Kiggundu D.A., Karamura D. and Abera M., (1998). Diversity, Distribution and Selection criteria of Musa Germoplasm in Uganda. In Bananas and Food Security. International symposium, Duala Cameroon. pp 163-179.
- INERA, (2009). Répertoire des variétés homologuées de plantes à racines, tubercules et du bananier.
- Kansongo R.K., Van Ranst E., Verdoodt A., Kanyankagote P., Baert G. (2009). Impact of *Acacia auriculiformis* on the chemical fertility of sandy soils on the Batéké plateau, D.R. Congo. *Soil Use and Management*, 25: 21-27.

- Kasongo R.K., Van Ranst E., Verdoodt A., Kanyankagote P., Baert G. (2010). Roche phosphatée de Kanzi comme engrais à propriété amendante pour des sols sableux de l'Hinterland de Kinshasa. *Étude et Gestion des sols*, 17: 47-58.
- Kasongo R.K., Verdoodt A., Kanyankagote P., Baert G. & Van Ranst E. (2011). Coffee waste as an alternative fertilizer with soil improving properties for sandy soils in humid tropical environments. *Soil Use and Management*, 27: 94-102.
- Kibungu P.K., (2008). Détermination des espèces dans la succession de *Terminalia Superba* et de leurs impacts sur le bananier: cas du système sylvobananier dans la réserve de biosphère de Luki-Mayumbe (RD Congo). Université de Kinshasa - Ingénieur agronome en gestion des ressources naturelles (faune et flore). 31p.
- Kwa M. et Temple L., (2019). Le bananier plantain: Enjeux socio-économiques et techniques, expériences en Afrique intertropicale. Éditions Quæ, CTA, Presses agronomiques de Gembloux.
- Lassoudière A., (2007). Le bananier et sa culture. Ed. Quæ, Versailles France. 383p.
- Muller J.C., Denys D., Thiebeau P., (1993). Présence de légumineuses dans la succession de cultures: Luzerne et pois cultivés purs ou en association, influence sur la dynamique de l'azote. In: Matières organiques et Agricultures (Decroux J., Ignazi J.C., eds), Congrès GEMAS-Comifer, Blois, novembre, 83-92.
- Ngo-Samnack E.L., (2011). Production améliorée du bananier plantain. CTA ISF Pro-Agro series.
- Nsombo M.B, (2016). Évolution des nutriments et du carbone organique du sol dans le système agroforestier du plateau des Batéké en République Démocratique du Congo. Thèse de Doctorat, Université de Kinshasa.
- Ondh-Obame J.A., Ndoutoume N.A., Nguema N.P., Mindze P.C, Mendoume I.D., Pambo B.K., (2020). Prévalence du Banana Bunchy Top Disease (BBTD) dans la zone de Ntoum au Gabon. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 14: 739-749.
- Ouattara N., Bellefontaine R., Bourg F. et Nicolas D., (2010). Agroforesterie, état de lieu, enjeux et opportunités. CTA, Wageningen, Pays Bas, 10p.
- Pauwels L., (1993). Nzayilu N'ti, guide des arbres et arbustes de la région de Kinshasa –Brazzaville. Meise, jardin botanique national de Belgique, 495p.
- Ponette Q., (2010). Effets de la diversité des essences forestières sur la décomposition des litières et le cycle des éléments. *Forêt Wallonne*, n° 106.
- Pourcelot M., Py G., Pasquet M., Schneider A., (2014). Systèmes de culture avec légumineuses - Des atouts observés en exploitations agricoles. *Perspectives agricoles*, 414: 31-35.
- Prieur L., Justes E., (2006). Disponibilité en azote issue de l'effet du précédent légumineuse, de culture intermédiaire et d'engrais organique. *Alter Agri*, 80: 13-17.
- SENASAEM, (2012). Catalogue variétal des cultures vivrières: Maïs, Riz, Haricot, Arachide, Soja, Niébé, Manioc, Patate douce, Pomme de terre et Bananier. Projet CTB/MINAGRI "appui au secteur semencier" 240, 177-237.
- SENASAEM, (2019). Catalogue national variétal des cultures vivrières. Répertoire des variétés homologuées de plantes à racines, tubercules et du bananier, 93-117.
- Valmajor P., (2000). Les bananes à cuire - Classification, production et utilisation en Asie du Sud-Est. *Info Musa*, 9: 28-30.
- Wuenschel A., (2019). Impacts écologiques potentiels à long-terme des plantations d'*Acacias* non-natifs dans la région de Kinshasa, en RD. Rapport de l'USAID, 37: 16-17.
- Wang F. *et al.* (2010). Effects of nitrogen-fixing and non-nitrogen-fixing tree species on soil properties and nitrogen transformation during forest restoration in southern China. *Soil Science and Plant Nutrition*, 56: 297-306.
- Yamashita, N., Ohta, S., Hardjono, A. (2008). Soil changes induced by *Acacia mangium* plantation establishment: Comparison with secondary forest and *Imperata cylindrica* grassland soils in South Sumatra, Indonesia. *For. Ecol. Manag.*, 254: 362-370.
- Vadenput, R. (1981). Les principales cultures en Afrique centrale. Presse de l'imprimerie Lesafre, B7500, Belgique.

# Modulation de l'expression des gènes de rédoxines par interférence ADN chez le blé

Abderrakib ZAHID<sup>1</sup>

(Reçu le 01/10/2022; Accepté le 11/11/2022)

## Résumé

Les modifications génétiques constituent une innovation importante dans l'étude des gènes et des protéines. L'implication des peroxydoxines (Prxs) et des thiorédoxines (Trxs h) a été étudiée in planta par voie transgénique dans certains travaux qui ont confirmé leurs rôles dans la protection contre le stress, dans la modulation des protéines de réserve, l'amélioration de la viscosité de la pâte et la diminution des effets négatifs comme l'allergénicité. Chez les céréales, les travaux qui traitent les implications de ces protéines sont encore rares et principalement dans l'amélioration de la qualité germinative. Les techniques disponibles nous offrent deux possibilités de moduler l'expression d'un gène, l'imbibition et la surexpression. La technologie ARN antisens a été utilisée comme moyen pour la régulation de l'expression génique dans un grand nombre d'organismes. Depuis l'avènement de l'interférence ARN (RNAi), cette technique s'est peu à peu imposée par sa simplicité et son efficacité. Elle est devenue un outil puissant pour la détermination des fonctions des gènes. Pour notre part, nous nous situons dans la voie ouverte par des auteurs qui ont apporté une nouvelle souplesse à la technique d'interférence en utilisant des fragments d'ADN au lieu des fragments d'ARN double brin. Pour obtenir le fragment d'ADN, un couple de primers suffit. Dans cette étude, en nous basant sur les données de la littérature, nous avons mis au point une méthode simple à mettre en œuvre et efficace pour inhiber l'expression des gènes ciblés (Trx h1, h2, h3 et Grx) par interférence ADN. Ceci est réalisé après injection soit du gène entier soit des petits fragments d'ADN double brin d'une vingtaine de paires de bases sur le modèle des siARN. L'inhibition de l'expression des gènes, a un effet sur le développement des plantules.

**Mots clés:** Blé, interférence ADN, rédoxines

## Modulation of redoxin gene expression by DNA interference in wheat

### Abstract

Genetic modifications are an important innovation in the study of genes and proteins. The involvement of peroxidases (Prxs) and thioredoxins (Trxs h) has been studied in planta by transgenic route in certain studies which have confirmed their roles in protection against stress, in the modulation of reserve proteins, the improvement of the viscosity of the paste and the reduction of negative effects such as allergenicity. In cereals, studies dealing with the implications of these proteins are still rare and mainly in the improvement of germination quality. The available techniques offer us two possibilities to modulate the expression of a gene, imbibition and overexpression. Antisense RNA technology has been used as a means for the regulation of gene expression in a large number of organisms. Since the advent of RNA interference (RNAi), this technique has gradually imposed itself by its simplicity and efficiency. It has become a powerful tool for determining gene function. For our part, we will follow the path opened by authors who have brought new flexibility to the interference technique by using DNA fragments instead of double-stranded RNA fragments. To obtain the DNA fragment, a couple of primers is enough. In this study, based on data from the literature, we have developed a simple to implement and effective method to inhibit the expression of targeted genes (Trx h1, h2, h3 and Grx) by DNA interference. This is done after injection either of the whole gene or of small double-stranded DNA fragments of about twenty base pairs on the siRNA model. Inhibition of gene expression has an effect on seedling development.

**Keywords:** Wheat, DNA interference, redoxins

## INTRODUCTION

La génétique inverse est devenue une approche de choix pour identifier le rôle de certains gènes impliqués dans le développement des plantes et dans l'élaboration de la qualité de la matière première. La technologie basée sur l'interférence par ARN (RNAi) en est l'exemple le plus emblématique. Le principe consiste à introduire des fragments d'ARN double brin dans un organisme ou une cellule. La figure 1 montre le mécanisme d'interférence ARN.

Les molécules d'ARN double brin sont d'abord découpées par une RNase double brin, l'éminceuse (Dicer) produisant des fragments d'environ 21-23 nucléotides, les petits ARN interférant (short interfering RNA, siRNA). Ces petits ARN sont ensuite incorporés sous forme de simple brin dans un complexe ribonucléoprotéique (RISC) où ils servent de guide pour la reconnaissance de la cible. L'interférence a lieu quand l'un des brins est susceptible de s'hybrider de manière spécifique avec un ARNm pour induire la suppression de l'expression génique de cette cible. Cette inhibition peut donc avoir lieu au niveau du

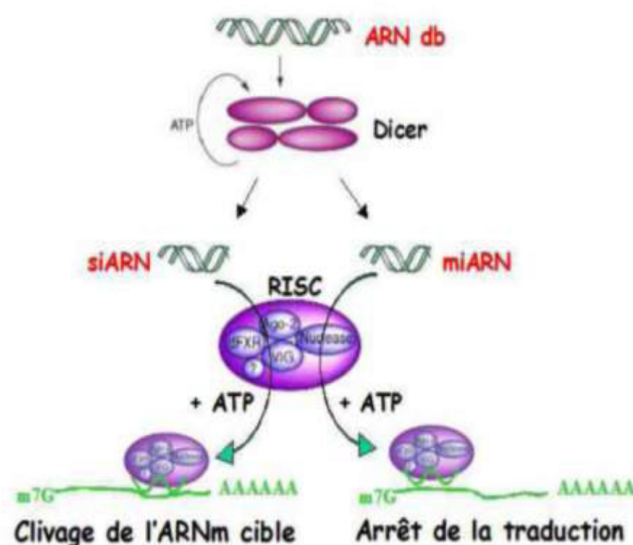


Figure 1: Fonctionnement classique de la machinerie de l'ARN interférence

<sup>1</sup> Unité de protection des Plantes, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc

cytosol par dégradation de l'ARNm ou par inhibition de la traduction (Hannon *et al.*, 2002; Vaucheret *et al.*, 2001). L'un des avantages de ce procédé, est qu'il n'est pas restreint à une cellule mais s'étend aux cellules voisines grâce aux petits ARN eux même (Dunoyer *et al.*, 2010). Ainsi, il n'est pas nécessaire d'avoir une intégration stable d'un transgène, car une expression transitoire est suffisante pour induire le phénotype correspondant à l'inhibition de l'expression génique.

Quelques travaux avaient ouvert cette voie en montrant que des ADN double brin, dépourvus de promoteur, pouvaient induire l'inhibition de l'expression génique chez les plantes (Voinnet *et al.*, 1998; Palauqui *et al.*, 1999; Rutherford *et al.*, 2004, Nowak *et al.*, 2009).

Des équipes, surtout dans le milieu médical, montrent un intérêt grandissant pour les systèmes à base d'ADN. Ce travail s'inscrit dans ce sens, puisqu'il consiste à inhiber trois gènes (deux thioredoxines (Trx h) et une glutarédoxines (Grx) au stade plantule du blé. Il s'agit de déterminer si l'on pouvait mettre en évidence au niveau de l'expression des gènes et au niveau phénotypique un possible effet de l'inhibition. Ainsi si on pouvait évaluer en deuxième lieu la redondance et/ou la spécificité des isoformes de la Trx h. Cette étude s'inscrit dans l'optique d'une compréhension de la qualité germinative du blé tendre en particulier et des céréales en générale, par le biais de marqueurs et principalement les rédoxines. Par leurs multiples fonctions dans les processus de germination comme la mobilisation des protéines de réserve, et la protection contre le stress oxydatif, les protéines des rédoxines semblent être les biens placés pour aborder la qualité germinative.

Pour atteindre ces objectifs et en s'appuyant sur les données de la littérature, une méthode simple a été mise au point pour inhiber l'expression des gènes ciblés (Trx h1, h2, h3 et Grx) par interférence ADN en utilisant l'injection du gène entier ou de petits fragments d'ADN double brin de séquence spécifique à la cible.

L'analyse phénotypique a été faite par le suivi du développement des plantules et l'expression des gènes, par qRT-PCR à partir des ARN totaux et l'expression des protéines de Trx h par westren blot.

## MATÉRIELS ET MÉTHODES

### Matière végétale

Une centaine de grains de blé Soissons placés dans un Falcone de 50 ml sont trempés dans de l'hypochlorite de sodium à 10% pendant 20 à 30 minutes. Ensuite ils sont lavés 3 fois dans de l'eau stérile puis une fois dans une solution d'acide chlorhydrique (10 mM). Ils sont finalement lavés 5 fois avec de l'eau stérile. Les grains sont semés en condition stérile c'est-à-dire sur papier filtre wattman humide dans des boîtes de Pétri et ils sont mis à germer dans un phytotron (Fisher bioblock Scientific), entre 72-96 heures sous 200  $\mu\text{mol. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , avec une photopériode de 16 h et un gradient de température jour/nuit de 23/20°C. Les graines germées sont ensuite transplantées à raison de quatre unités par pot dans un terreau commercial stérile. Avant l'ouverture de la première feuille (environ quatre jours de germination), 5  $\mu\text{l}$  de la solution d'interférence, siADN ou de l'eau stérile sont injectées dans la première feuille, elles sont replacées dans le phytotron. L'expression des gènes de Trx h1, Trx h2, Trx h3 et Grx est analysée à 8 h, et à 96 h.

### Préparation de l'ADN interférant

#### Gènes de thiorédoxines et de glutarédoxines (geADN)

Les transcrits des Trx h1 (AY072771), Trx h2 (AF286593), Trx h3 (AF420472) et Grx (EU823285) du blé tendre (*Triticum aestivum*, cv Soissons) sont amplifiés par PCR. L'amplification est réalisée à l'aide de 2 unités de la polymérase pfu (Promega) dans un tampon commercial (Promega), avec 200  $\mu\text{M}$  de chaque dNTP, 0,5  $\mu\text{M}$  de chaque amorce et 1 ng d'ADN dans volume final de 25  $\mu\text{l}$ . Les amorces sont indiquées dans le tableau 1.

La PCR est réalisée dans un thermocycleur Applied Bio-Systems 9700 dans les conditions suivantes: 1 cycle à 95°C pendant 3 minutes; 30 cycles à 95°C pendant 30 secondes, 60°C pendant 30 secondes; 1 cycle. Les échantillons contenant les amplicons de Trx h1, Trx h2, Trx h3 et Grx sont analysés par électrophorèse sur gel d'agarose 1%. Les bandes de 400 bp qui correspondent aux ADN des Trx h1, Trx h2, Trx h3 et Grx sont alors coupées et purifiées par le Kit de purification Qiagen dans un volume de 10  $\mu\text{l}$ .

**Tableau 1: Les amorces utilisées dans l'amplification des gènes Trxs et Grx**

Amorces	Séquences
Trx h1	5'-ACATGGCTAATGGCAAGGAGA-3' 5'-CGTTGTATGCTTCAGCGACGT-3'
Trx h2	5'-GCTATCAAGGAGGAAGTACGAA-3' 5'-AAAACACACTAGCTTGGATTAAGCAA-3'
Trx h3	5'-TGTCGGAGCTATCAAGGAGGAG-3' 5'-CTTGATTCACCATCATAAACTC-3'
Grx	5'-AGTCCAGAGCTATGGCGCTC-3' 5'-CTAAGGAGTGACGGTGGTCTTC-3'

**Tableau 2: Les amorces utilisées pour la préparation des petits ADN double brin (siADN)**

Amorces	Séquences
Trx h1	Sens: 5'-AAGAAGCTGGTGGTTCATTGACTT-3' Antisens: 3'-AAGTCAATGACCACCAGCTTCTT-5'
Trx h2	Sens: 5'-AACTTCAGACATTTGCACCGGTT-3' Antisens: 3'-AACCGGTGCAAATGTCTGAAGTT-5'
Grx	Sens: 5'-AAGAAGTTGTTACGCAGCTGGG-3' Antisens: 3'-CCCAGCTGCGTGAACAACCTTCTT-5'

## Les petites ADN double brin (siADN)

Les petits ADN double brin (siADN) ont été dessinés par le programme SiRNA (bioweb2.pasteur.fr) à partir de la séquence ARNm. Les solutions (50  $\mu$ M) de siADN ont été préparées par hybridation des amorces correspondantes (Tableau 2) avec leur brin complémentaire dans un thermocycleur par un gradient de température de 90°C à 40°C pendant 15 minutes.

## La quantification relative de l'expression génique par PCR en temps réel

L'extraction d'ARN a été réalisée suivant les instructions décrit par le kit RNAeasy Plant mini Kit (Promega). Les gènes des Trx h1 (AY072771), Trx h2 (AF286593), Trx h3 (AF420472) et Grx (EU823285) du blé tendre (*Triticum aestivum*, cv Soissons) sont amplifiés par PCR. L'amplification est réalisée à l'aide de 2 unités de la polymérase pfu (Promega) dans un tampon commercial (Promega), avec 200  $\mu$ M de chaque dNTP, 0,5  $\mu$ M de chaque amorce et 1 ng d'ADN dans volume final de 25  $\mu$ l. La PCR est réalisée dans un thermocycleur Applied BioSystems 9700 dans les conditions suivantes: 1 cycle à 95°C pendant 3 minutes; 30 cycles à 95°C pendant 30 secondes; 60°C pendant 30 secondes; 1 cycle à 72°C pendant 7 minutes. La quantification relative d'un gène donné est exprimée, après normalisation par l'expression de l'ARNr 18S (5'-AGTAAGCGCGAGTCATCAGCT3'; 5'-CATTCAATCGGTAGGAGCGAC-3') utilisé comme contrôle interne, en pourcentage de l'expression d'une référence par la méthode du  $2^{-\Delta\Delta CT}$  (Livak *et al.*, 2004).

## Analyse par western blot

Des graines de blé sont mises à germer dans des conditions stériles. A la sortie de la première feuille, 5  $\mu$ l des siADN de la Trx h1, de la Grx et le mélange équimolaire des Trx h (Trx h1, h2 et h3) ont été injectés. Des témoins positifs en injectant de l'eau stérile et des témoins négatifs sans aucune injection ont été également préparés. Des prélèvements ont été réalisés à différents moments de la germination (24 h, 48 h, 72 h et 96 h), et les protéines sont extraites dans un tampon contenant 50 mM Tris-HCl (pH 8), 1 mM d'EDTA et 0,5 mM de PMSF. Les protéines sont ensuite concentrées grâce à un évaporateur concentrateur. 35  $\mu$ g de protéines ont été utilisées pour réaliser des analyses western blot. L'expression des protéines de la Trx h1, a été suivie en utilisant des anticorps Anti-Trx h2 du pois (*Pisum sativum*), couplés avec des anticorps antiRabbit Ig G (sigma). La révélation a été réalisée grâce au substrat (Sigma FASTTM 5-Bromo-4-chloro-3-indolyl phosphate/ Nitro Blue Tetrazolium Tablets).

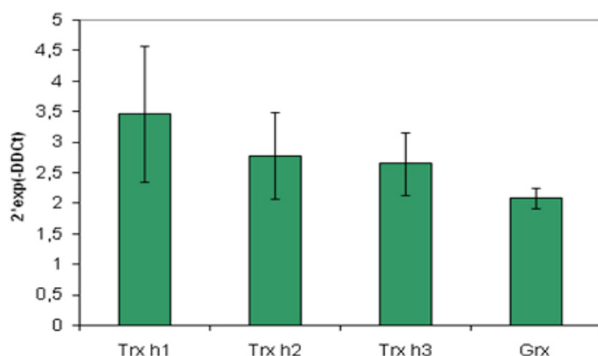


Figure 1: Profil d'expression des gènes cibles de la plantule témoin après 96 h de la germination dans les conditions de l'expérience

## RÉSULTATS

### L'expression des gènes

L'expression des gènes a été analysée par qRT-PCR en temps réel à partir des ARN totaux du matériel végétal. L'expression est mesurée à 8 h et 96 h en faisant l'hypothèse que ce mode d'inférence génère au moins une inhibition temporaire. Ceci permettra d'évaluer ainsi la durée de vie de cet effet. Le profil d'expression des gènes cibles chez les plantules témoins montre que, dans les conditions de l'expérience, la Trx h1 est la plus exprimée, Trx h2 et h3 ont un niveau d'expression similaire et supérieure à celle de la Grx (Figure 1).

### Inhibition par Trx h1

L'analyse de l'expression des gènes après une injection de Trx h ou de Grx sous la forme geADN ou siADN montre que ce système est susceptible de générer une modulation de l'expression du gène en question mais il module également celle des autres gènes ciblés. Ainsi, l'interférence par la Trx h1 sous la forme de siADN induit une inhibition quasi complète du gène 8 h après le traitement ainsi qu'à 96 h. La Trx h1 siADN induit également une inhibition complète des autres gènes ciblés après 8 h, par contre on observe une faible reprise de l'expression des ces derniers à 96 h et en particulier pour la Grx (Figure 2 et 3). Le traitement par geADN montre un profil différent. L'inhibition de Trx h1 atteint 75% à 8 h et n'est plus qu'à 65% à 96 h, indiquant un contournement de l'interférence, contrairement à ce qui est observé avec le siADN.

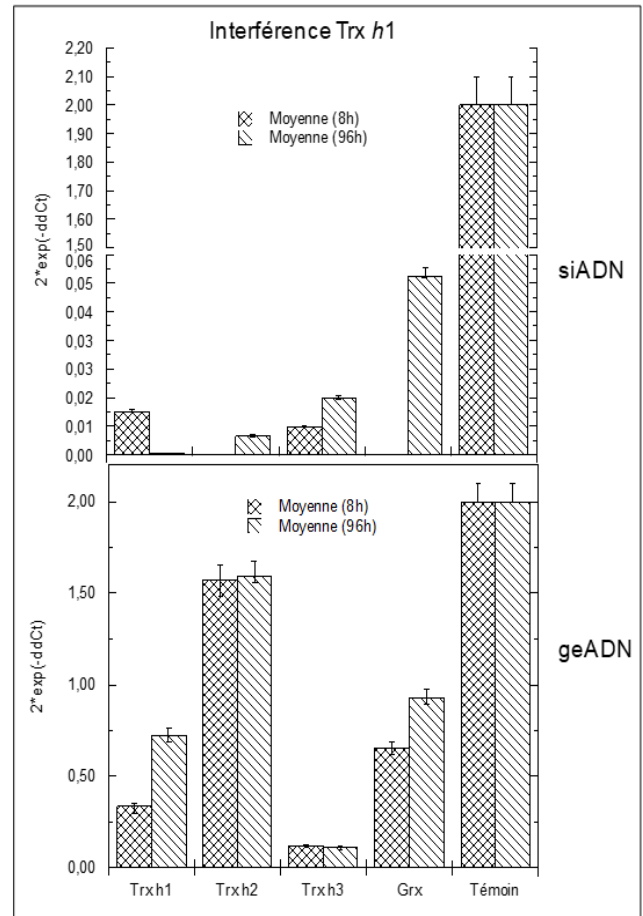


Figure 2: Profil d'expression des gènes inhibés par Trx h1 siADN et geADN

A	SiADN	8 h	96 h	geADN	8 h	96 h	B
	h1	99,25	100	h1	85	62,5	
	h2	100	100	h2	20	20	
	h3	99,5	99,5	h3	93,8	93,8	
	Grx	100	97,5	Grx	70	60	

Figure 3: Pourcentages d'inhibitions après l'injection de la Trx h1. siTrx h1(A), geTrx h1 (B)

Parmi les autres particularités, l'expression de Trx h3 reste inhibée à 90% même à 96 h, et par conséquent, l'effet de l'interférence semble plus efficace sur Trx h3 que sur Trx h1. La Grx a un profil similaire à celui de laTrx h1 tandis que l'expression de laTrx h2 est la moins affectée par cette méthode avec 20% d'inhibition.

**Inhibition par Trx h2**

L'injection de Trx h2 induit un profil d'inhibition similaire à ce qui a été observé précédemment avec quelques particularités (Figure 4 et 5).

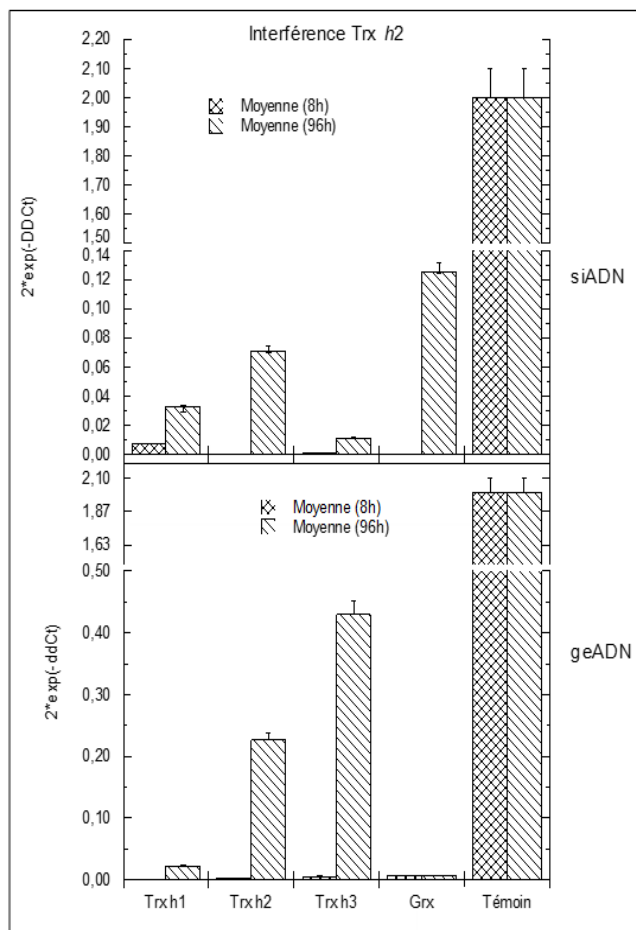


Figure 4: Profil d'expression des gènes inhibés par Trx h2 siADN et geADN entre 8 h et 96 h après traitement

A	SiADN	8 h	96 h	geADN	8 h	96 h	B
	h1	95,5	98,5	h1	100	99	
	h2	100	96,5	h2	100	87,5	
	h3	100	99,5	h3	100	79,5	
	Grx	100	94	Grx	100	100	

Figure 5: Pourcentage d'inhibition après l'injection de la Trx h2. siTrx h2 (A), geTrx h2 (B)

En premier lieu, l'efficacité de l'inhibition par geADN est plus grande qu'avec la Trx h1 et est quasiment du même ordre que celle du siADN. On constate l'inhibition totale à 8 h et un début de contournement de l'interférence à partir de 96 h. L'essai d'inhibition par injection de Trx h3 donne également le même profil (résultat non montré).

De ces trois essais d'inhibition, celle avec le siADN de la Trx h1 est la plus efficace, non seulement sur la Trx h1 mais aussi sur les autres gènes cibles. Ces résultats font partie d'un certain nombre d'indices qui plaident en faveur d'un rôle particulier de ce gène par rapport aux deux autres.

**Inhibition par Grx**

L'injection de la Grx sous la forme siADN à la particularité de provoquer l'inhibition totale des 3 Trx h jusqu'à 96 h, tandis que l'on observe un début de la phase de contournement à 96 h (Figure 6 et 7).

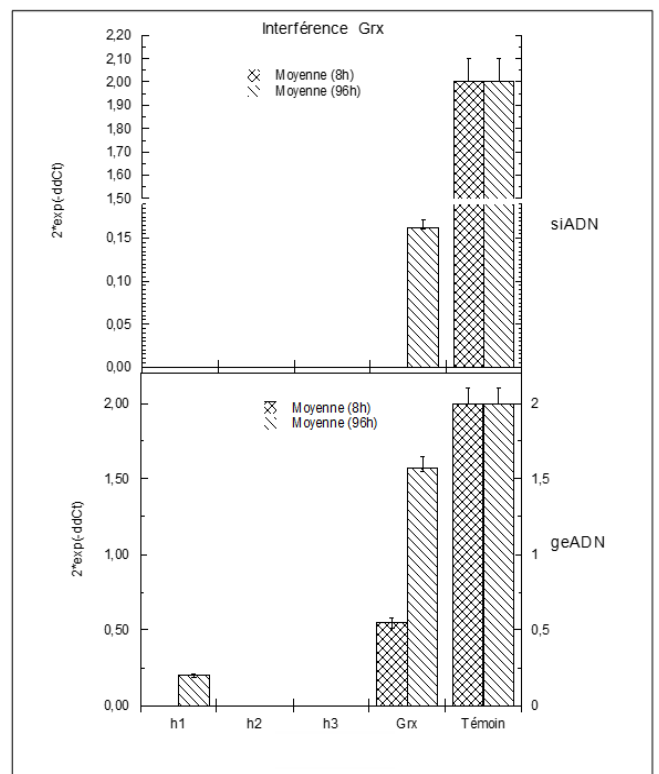


Figure 6: Profil d'expression des gènes inhibés par Grx siADN et geADN entre 8 h et 96 h après traitement

A	SiADN	Grx	Grx	geADN	Grx	Grx	B
	h1	100	100	h1	100	90	
	h2	100	100	h2	100	100	
	h3	100	100	h3	100	100	
	Grx	100	91,5	Grx	70	20	

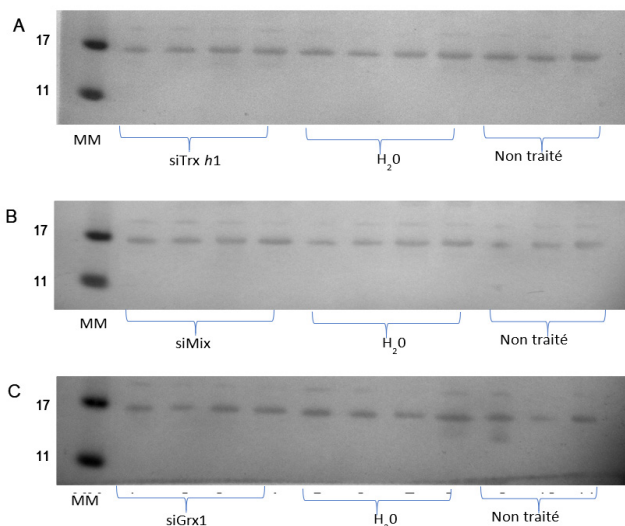
Figure 7: Pourcentages d'inhibitions après l'injection de la Grx. siGrx (A), geGrx (B)

L'effet de l'interférence de Grx sur la synthèse des Trxs h et le contrôle de l'inhibition pour Grx sont confirmés par la forme geADN dans la mesure où à 96 h, l'inhibition n'est plus que de 25%. L'inhibition par le mélange équimoléculaire des différents interférents ainsi qu'un volume de 15 µl de Grx ont le même effet, c'est-à-dire une inhibition totale de la synthèse de tous les gènes, ce qui est corrélé avec l'arrêt du développement de la plantule.



## Expression des protéines des Trx hs

Les résultats de l'expression des protéines des Trx hs obtenus par western blot grâce à l'anticorps anti-Trx h2PS (*Pisum sativum*), ne montre pas une inhibition de l'expression des protéines aussi importante qu'après injection des siADN des Trx h1, du mélange équimolaire des Trx h (h1, h2 et h3) et de Grx (Figure 8A, B et C). Il s'agit d'une très légère inhibition pendant les premières 48 h qui suivent les injections (Figure 9A et B), avant que cette expression ne retrouve son niveau des échantillons témoins. Les anticorps antiTrx h2PS ont été utilisés, car ils reconnaissent d'une manière spécifique les protéines recombinantes des Trx h1, h2 et h3 (Figure 8).



**Figure 8:** Suivi de l'expression des protéines de Trx h par western blot, en utilisant des anticorps-anti Trx h2 du pois (*Pisum sativum*). Les protéines totales ont été extraites à partir des feuilles de plantules, à différents moments (24 h, 48h, 72 h et 96 h), après les injections des SiADN respectivement de Trx h1 (A), du Mix (Mélange équimolaire de Trx h1, 2 et 3) (B) et de la Grx1 (C). Un contrôle positif a été réalisé par l'injection de volumes d'eau distillée, équivalents à ceux des SiADN. Les contrôles négatifs correspondent aux plantules non injectées.

## Analyse phénotypique

Les plantules du blé (cv Soissons) retenues dans l'expérimentation ont été choisies sur la base de leur homogénéité phénotypique. Les essais (geADN, siADN) et les témoins (H<sub>20</sub>) sont traités et le développement des plantules a été suivi au-delà de 96 h. D'une manière générale, on observe que les essais ont un développement normal comparé aux témoins, mais leur croissance est un peu plus lente. La croissance, évaluée sur la base de celle de la première feuille, est d'autant plus lente qu'on est proche de t=0 de l'injection. On note par exemple qu'une interférence par geADN de la Trx h1 génère une différence de 2-3 cm entre le témoin et l'essai 72 h après traitement (Figure 10). Le traitement par siADN a un effet plus inhibiteur de la croissance que celui par geADN. Après 96 h et lors d'une injection de 5 µl, qui est celle qui a été retenue lors de la mise au point de la méthode, les plantules essais deviennent peu à peu indiscernable par rapport aux témoins.

Si après 96 h, on transfère les deux types de plantules dans un phytotron dans les mêmes conditions, mais avec un gradient de température jour/nuit de 37°/28°C, on constate que les plantules des essais ont un phénotype pâle par

rapport aux témoins. Cela signifie que les effets de l'inhibition sont encore perceptibles après 96 h. Cependant, les plantules retrouvent rapidement le phénotype des témoins. Les observations montrent également que le phénotype des plantules varie en fonction de la nature et de la dose des solutions d'interférence. Ces résultats préliminaires montrent que les méthodes d'inhibition par geADN et siADN des Trxs h et de la Grx, comme utilisées dans cette étude, sont capables d'affecter d'une manière limitée le développement de la plantule. En outre, elles suggèrent un lien direct ou indirect entre l'expression de ces gènes et l'intégrité de l'appareil foliaire mise en évidence par le stress thermique, et dans une certaine mesure, la dose d'interférant ou l'interférence multiple.

## DISCUSSION

Les résultats préliminaires obtenus grâce à ces expériences ont un effet sur les plantules causé par l'interférence ADN. Cependant, la méthode développée nécessite une étude plus approfondie. L'injection des siADN et des geADN montre une extinction de l'ensemble des gènes de rédoxines étudiées (thiorédoxines h et glutarédoxine). Cela rend difficile l'interprétation des résultats en particulier quant à la spécificité des interférant vis-à-vis de leur cible. Il semble que l'ADN interférant reconnaît une multitude d'ARNm. Ainsi, pour confirmer ces résultats et valider la méthode mise en place, l'injection contrôle d'ADN («si» ou «ge») ciblant un gène absent du génome de l'organisme étudié (i.e. gène codant la Green Fluorescent Protein) semble indispensable. Malgré ce manque, une interprétation de ces résultats préliminaires peut être réalisée. On observe ainsi, une plus grande efficacité des siADN par rapport aux geADN à inhiber l'expression des gènes cibles.

Dans les conditions de cette expérimentation, en dépit du choix des séquences utilisées pour générer les phénomènes d'interférences, il est difficile d'inhiber un gène unique dans les conditions utilisées. Ceci peut être dû à la proximité des séquences des isoformes. En retournant l'argument, cette technique offre donc la possibilité d'inhiber une famille génique telle que les Trx ou les Grx à l'aide d'un unique siADN.

Au contraire de l'effet de l'inhibition des transcrits des rédoxines par les siADN, l'inhibition de l'expression des protéines n'est pas aussi importante que les gènes des rédoxines étudiés. Le maintien de l'expression des protéines, peut être expliqué par le turn-over plus lent des protéines, ou encore que d'autres isoformes de Trxs h compensent la synthèse des protéines des Trxs h. Il faut signaler que l'anticorps anti-Trx h2PS, ne révèle la présence que d'une seule bande de Trx h dont les gènes sont inhibés. Ce qui rend difficile le suivi de l'expression de chaque protéine. Ainsi, le suivi de l'expression des protéines nécessiterait certainement, l'utilisation des anticorps spécifiques pour chaque protéine de Trxs h.

Cette étude avait également pour objectif de répondre à la question de la possibilité de mettre en évidence un effet phénotypique de l'inhibition de Trxs h par interférence. En effet, des travaux similaires entrepris sur *Arabidopsis* ont montré qu'apparemment, l'inhibition sélective de Trx h n'avait aucun effet phénotypique (Yves Meyer, communications personnelles). Cette absence d'effet pouvait être interprétée par une réaction de compensation due au nombre d'isoformes de la Trx h chez *Arabidopsis*.

Concernant le blé, et les céréales en général, une surexpression de Trx h au niveau du grain chez l'orge (Wong *et al.*, 2004) ou une inhibition par la technologie anti-sens de la Trx h chez le blé (Guo *et al.*, 2007) avait des effets mesurables sur la germination et la taille des agrégats protéiques. Ceci montre que la modulation de l'expression des Trxs h au niveau du grain est mesurable en termes physiologiques. Dans ces travaux, nous montrons que l'inhibition de Trx h ou de Grx induit un retard très limité dans le développement. Elle se traduit en outre par une vulnérabilité au stress oxydatif généré par un stress thermique. Les Trxs h et les Grxs en particulier sont connues dans le maintien de l'état redox intracellulaire, et leur potentiel comme facilitatrices et régulatrices de la conformation de protéines et d'activité chaperonne (Berndt *et al.*, 2008). Il ne serait pas étonnant que l'inhibition de ces censeurs de l'état redox cellulaire ait des conséquences sur le métabolisme en général.

La première donnée de ces résultats préliminaires, et si ce résultat sera confirmé lors de l'utilisation de contrôles externes, est l'impact de l'inhibition de la Grx sur celle des Trxs h. Les Grxs cytosoliques réduisent les protéines glutathionylées et interviennent dans le maintien du statut redox des protéines pendant un stress oxydatif. Une étude récente montre qu'une inhibition de la Grx1 aggrave le dysfonctionnement mitochondrial dans un modèle animal de maladie neurodégénérative, telle que la maladie de Parkinson. La Grx1 intervient donc dans le maintien de l'intégrité de la membrane externe de la mitochondrie (Saeed *et al.*, 2008). Des fonctions similaires peuvent être évoquées dans le présent cas. On connaît également un cas où la Trx h est réduite par le système GSH/Grx (Gelhay *et al.*, 2003). Les résultats suggèrent une évidente dépendance des Trx h étudiées par rapport à la Grx, par conséquent les cas de réduction de la Trx h par la Grx/GSH doit être plus répandue qu'on ne le croit.

L'inhibition observée avec les gènes montre que ce système est fonctionnel. L'inhibition observée par le biais de geADN suggère que le double brin ADN est susceptible d'être reconnu par l'équivalent de la RNase Dicer (Montrichard *et al.*, 2003; Nowak *et al.*, 2009), enzyme très conservée chez les champignons, plantes, mammifères, nématodes et insectes (Serrato *et al.*, 2001). Il doit être ensuite découpé en petits siADN, et ceux-ci sont enfin incorporés sous forme simple brin dans le complexe ribonucléoprotéique dénommé RISC (RNA-induced silencing complex) où ils servent de guide pour la reconnaissance de la cible (Hammond *et al.*, 2000). L'action des siADN est beaucoup plus marquée que celle des geADN et mériterait d'être comparée à celle des siARN pour évaluer leur différence.

## CONCLUSION

Dans cette étude, en nous basant sur les données de la littérature, nous avons mis au point une méthode simple à mettre en œuvre et efficace pour inhiber l'expression des gènes ciblés (Trx h1, h2, h3 et Grx) par interférence ADN. Ceci est réalisé après injection soit du gène entier soit des petits fragments d'ADN double brin d'une vingtaine de paires de bases sur le modèle des siARN. L'inhibition de l'expression des gènes, à un effet sur le développement des plantules. Cet effet reste limité dans le temps, puisque les plantules retrouvent rapidement un développement identique aux plantules témoins.

Les résultats obtenus sont encourageants, mais pour valider définitivement ces résultats et donc la méthode développée, d'autres travaux sont nécessaires. D'abord, une répétition de l'expérience en suivant l'expression d'autres gènes que les rédoxines pour s'assurer que les siADN et/ou les geADN ciblent bien l'ARNm du gène en question. Cela permettrait de confirmer ou d'affirmer les interactions observées entre les isoformes de Trx h et entre les Trxs h et la Grx. Toujours dans le cadre de vérifier l'efficacité de cette méthode dans l'inhibition de l'expression des gènes, une analyse northern blot des petites ARN doit être réalisée. Cela permettrait de confirmer les résultats obtenus par qRT-PCR.

## RÉFÉRENCES

- Bashandy, T., Guillemot, J., Vernoux, T., Caparros-Ruiz, D., Ljung, K., Meyer, Y., Reichheld, J.P. (2010). Interplay between the NADP-linked thioredoxin and glutathione systems in *Arabidopsis* auxin signaling. *The Plant Cell*, 22: 376-391.
- Berndt, C., Lillig, C.H., Holmgren, A. (2008). Thioredoxins and glutaredoxins as facilitators of protein folding. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1783: 641-650.
- Dunoyer P., Schott G., Himber C., Meyer D., Takeda A., Carrington J.C., Voinnet O. (2010). Small RNA duplexes function as mobile silencing signals between plant cells. *Science*, 328: 912-916.
- Gelhay, E., Rouhier, N., Jacquot, J.P. (2003). Evidence for a subgroup of thioredoxin h that requires GSH/Grx for its reduction. *FEBS Letters*, 555: 443-448.
- Hammond, S.M., Bernstein, E., Beach, D., Hannon, G.J. (2000). An RNA-directed nuclease mediates post-transcriptional gene silencing in *Drosophila* cells. *Nature*, 404: 293-296.
- Hannon, G.J. (2002). RNA interference. *Nature*, 418: 244-251.
- Livak, K.J., Schmittgen, T.D. (2001). Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative and the 2<sup>-T<sub>C</sub></sup> method. *Methods*, 25: 402-408.
- Montrichard, F., Renard, M., Alkhalifou, F., Duval, F.D., Macherel, D. (2003). Identification and differential expression of two thioredoxin h isoforms in germinating seeds from pea. *Plant Physiology*, 132: 1707-1715.
- Nowak, M., Wozko, E., Fedoruk-Wyszomirska, A., Pospieszny, H., Barciszewska, M.Z., Barciszewski, J. (2009). A new and efficient method for inhibition of RNA viruses by DNA interference. *FEBS Journal*, 276: 4372-4380.
- Palauqui, J.C., Balzergue S. (1999). Activation of systemic acquired silencing by localised introduction of DNA. *Current Biology*, 9: 59-66.
- Rutherford, G., Tanurdzic M., Hasebe M., Banks J.A. (2004). A systemic gene silencing method suitable for high throughput, reverse genetic analyses of gene function in fern gametophytes. *BMC Plant Biology*, 4:1-10.
- Saeed, U., Durgadoss, L., Valli, K., Joshi, D., Joshi, P., Ravindranath, V. (2008). Knockdown of Cytosolic Glutaredoxin 1 Leads to Loss of Mitochondrial Membrane Potential: Implication in Neurodegenerative Diseases. *PLoS One*, 3: e2459.
- Voinnet, O., Vain, P., Angell, S., Baulcombe, D.C. (1998). Systemic spread of sequence-specific transgene RNA degradation in plants is initiated by localized introduction of ectopic promoterless DNA. *Cell*, 95: 177-187.
- Wong, J.H., Cai, N., Tanaka, C.K., Vensel, W.H., Hurkman, W.J., Buchanan, B.B. (2004). Thioredoxin reduction alters the solubility of proteins of wheat starchy endosperm: An early event in cereal germination. *Plant and Cell Physiology*, 45: 407-415.

# Modélisation spatiale du transfert des nitrates dans un bassin versant agricole: Cas du bassin versant de Ono (Côte d'Ivoire)

T. KONE<sup>1\*</sup>, B.A. AMA-CAUPHYS<sup>1</sup>, L.C.A. MANGOUA-ALLALI<sup>1</sup>, J-C. K. N'DRI<sup>1</sup>, J-M. P. OUATTARA<sup>1</sup>, L. COULIBALY<sup>1</sup>

(Reçu le 05/10/2022; Accepté le 08/11/2022)

## Résumé

Le Bassin Versant de Ono (BVO), dans la région du Sud Comoé, est dominé par les cultures agro-industrielles utilisant des fertilisants chimiques. Cela constitue une source importante de pollution, particulièrement aux nitrates. Cette étude visait à modéliser le transfert des nitrates vers les eaux de surface du BVO en deux étapes: (i) modéliser l'érosion hydrique de la zone et (ii) estimer la quantité d'azote dans le BVO. La combinaison de ces paramètres de vulnérabilité, précédée d'une analyse multicritère, a permis d'obtenir une carte des risques de transfert des nitrates vers les eaux de surfaces. Cette cartographie révèle que les classes de Risques Faible et Très Faible représentent 65,5% du BVO. Les classes de Risque Élevé représentent 25,2% de la superficie du BVO et concernent la zone de production d'ananas de Ono-Salci près de la lagune Ono. Les classes de Risque Moyen occupent 9,29% du bassin et concernent les zones de production d'hévéa et de palmier à huile de Bongo. Ainsi, cette analyse multicritère spatiale simple a permis de simuler les risques de transfert des nitrates vers les eaux de surface du BVO. Cette étude pourrait être approfondie en analysant les nitrates dans des échantillons d'eau de surface du BVO.

**Mots clés:** Nitrates, Pollution diffuse, Vulnérabilité, Eaux de surface, Agriculture, Culture d'ananas, Bassin versant agricole

## Spatial modeling of nitrate transfer in an agricultural watershed: The Ono watershed case (Côte d'Ivoire)

### Abstract

The Ono Watershed (OWB), in the South Comoé region, is dominated by agro-industrial crops using chemical fertilizers. This constitutes a major source of nitrate pollution. This study aimed to model the transfer of nitrates to the surface waters of the BVO in two steps: (i) modeling the water erosion of the area and (ii) estimating the amount of nitrogen in the BVO. The combination of these vulnerability parameters, preceded by a multi-criteria analysis, resulted in a map of the risk of nitrate transfer to surface waters. This map reveals that the Low and Very Low-Risk classes represent 65.5% of the BVO. The High-Risk classes represent 25.2% of the BVO and concern the pineapple production area of Ono-Salci near the Ono Lagoon. The Medium Risk classes occupy 9.29% of the basin and concern Bongo's rubber and oil palm production areas. Thus, this simple spatial multi-criteria analysis allowed for the simulation of the risk of nitrate transfer to surface waters in the BVO. This study could be complemented by analyzing nitrates in surface water samples from the BVO.

**Keywords:** Nitrates, Diffuse pollution, Vulnerability, Surface water, Agriculture, Pineapple crop, Agricultural watershed

## INTRODUCTION

Depuis la fin des années 1950 environ, des contaminations diffuses de nitrates d'origine agricole ont été mises en évidence dans des hydro-systèmes de par le monde. Les teneurs en nitrates dans les eaux souterraines et de surface ne cessent en effet d'augmenter de manière quasi linéaire depuis cette période (Mariotti, 1994). Ces augmentations s'observent plus particulièrement dans les régions d'agriculture intensive (Hansen *et al.*, 2010), conséquence de l'augmentation de l'utilisation d'engrais azotés (Costa *et al.*, 2002). D'autres origines plus ponctuelles (rejets industriels, rejets urbains, etc.) sont aussi des sources d'azote.

En Côte d'Ivoire, le développement du secteur agricole a entraîné une augmentation de la quantité d'engrais utilisée, ce qui représente une source de pollution tant ponctuelle que diffuse des ressources en eau. En effet, les études de modélisation spatiale et d'analyse multicritères menées par Anoh *et al.* (2012) et Eba *et al.* (2013) ont permis de montrer des risques de pollution généralisée des eaux de surfaces par les nitrates et les produits phytosanitaires. De toutes les régions de la Côte d'Ivoire, la région de Bonoua présente le taux d'utilisation d'intrants agricoles le plus important (54%) (MEMA, 2001). L'intensification des pratiques agricoles dans cette région pourrait exposer le bassin versant de Ono (BVO) à une pollution diffuse aux nitrates et aux produits phytosanitaires. Selon Eyi *et al.* (2016), le BVO

renferme d'importantes zones d'occupation humaine et de grandes plantations industrielles (ananas, hévéa et palmier à huile) et villageoises de cultures pérennes. Le lessivage de ces terres est une source permanente de pollution par le nitrate qui constitue une menace aussi bien pour la qualité des ressources en eau que pour la communauté biologique vivant dans les eaux de ce bassin ainsi que pour la santé des populations. La prévention des risques de pollution des eaux de ce bassin passe par une bonne connaissance des zones vulnérables à la pollution et l'évolution de cette vulnérabilité dans le temps. De ce fait plusieurs travaux ont pu être réalisés. En effet, les travaux réalisés par Aké (2001) et Efini (2007) abordent essentiellement la quantité et la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la région de Bonoua. Aké (2010) a étudié la vulnérabilité à la pollution par les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) de la nappe de Bonoua par les méthodes Drastic et Si. Cependant, peu d'études réalisées concernent le transfert de la pollution aux nitrates vers les eaux de surface de la région de Bonoua. C'est dans ce cadre que cette étude s'est proposée de mettre en œuvre un modèle spatial permettant l'évaluation des risques potentiels de contamination des eaux de surface par les nitrates en zone de culture d'ananas dans le BVO. Il s'agit d'évaluer les risques potentiels de contamination des eaux de surface par les nitrates sur le bassin versant de Ono (BVO) à partir de l'USLE et des données de télédétection disponibles couplées à celles de terrain. De façon spécifique, l'étude

<sup>1</sup> Laboratoire d'Environnement et de Biologie Aquatique, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

visé à: (i) évaluer la pression anthropique liée à l'épandage d'azote sur les zones agricoles du BVO, (ii) analyser les indicateurs relatifs à la sensibilité du BVO au transfert de la pollution vers les eaux de surface et (iii) modéliser le risque potentiel de contamination des eaux de surface du BVO par les nitrates.

## MATÉRIEL ET MÉTHODE

### Présentation du site de l'étude

L'étude a été conduite dans le bassin versant de Ono (BVO) situé au Sud-Est de la Côte d'Ivoire entre les latitudes 590013,610877–617636,597953 m Nord et les longitudes 434823,979423–450927,066059 m Est, suivant le système de coordonnées géographiques projetées UTM. Cette zone couvre une superficie de 274 km<sup>2</sup> avec un périmètre de 134 km. Ce bassin se présente sous une forme allongée avec un indice de compacité de Gravelius KC estimé à 2,28. Il partage plusieurs villages (Bongo II, Wehou, Ono, Kladiro, Akroaba Akoudjekoa, Valhamba, Ono Salci, Ingarako, Bato, Alosso II) issus de deux (2) Sous-préfectures de la Région administrative du Sud-Comoé (Bonoua et Bongo). Le BVO dispose de deux types de sols. Il s'agit des sols ferrallitiques fortement remaniés appauvris en argile qui occupent la quasi-totalité du BVO et les sols hydromorphes. La lagune Ono est le principal cours d'eau permanent du BVO. Elle a une superficie d'environ 400 ha et s'ouvre sur le fleuve Comoé qui se jette à son tour dans l'océan Atlantique. Le BVO est dominé par les cultures agro-industrielles utilisant des fertilisants chimiques.

### Données collectées sur le bassin pour la modélisation

Des données alphanumériques et des images satellitaires et de cartographies ont été collectées. Les données alphanumériques se composent d'une part des doses d'azote

épandues (proportion en azote par type d'engrais utilisé et de culture pratiquée sur la saison culturale de 2017 à 2018) et d'autre part des données pluviométriques de la période 1986 à 2016. Les premières données ont été obtenues à partir de la fiche technique des cultures fournie par le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA).

Les charges moyennes des apports d'engrais (Qa) et les superficies fumées (Sf) de la saison culturale 2017-2018 ont été collectées auprès de la Société africaine de Production d'Hévéa (SAPH) et la Société de Culture et de développement de la Banane (SCB) qui sont les principaux détenteurs des plantations d'hévéa, de palmier à huile et d'ananas du BVO. Les données pluviométriques de la période 1986 à 2016 ont été acquises sur le site de la Nationale Aeronautics and Space Administration (NASA). Toutes ces données collectées ont été saisies et traitées à l'aide des tableurs Excel (2013) et Statview 1.7 (1997).

S'agissant des données cartographiques, un Modèle Numérique de Terrain (MNT) de l'image d'Aster Global Élévation Model version 2 (ASTGEM 2) d'une résolution de 30 m couvrant la zone d'étude a été utilisé pour la délimitation du bassin, l'extraction du réseau hydrographique, la détermination des altitudes et des seuils des pentes. L'esquisse pédologique de la Côte d'Ivoire au 1/200000 dressée par Orstom-Sodemi a servi à l'élaboration de la carte pédologique (Perraud et De la Souchère, 1970). Également, le Shape file des villages et celui des limites administratives de la Côte d'Ivoire fourni par le Centre National de Télédétection et d'Information Géographique (CNTIG) ont été utilisés pour la présentation de la zone d'étude et la validation des sites d'occupation du sol. Les données cartographiques et alphanumériques avec des coordonnées sur support numérique sont directement importées dans le logiciel ArcGIS.

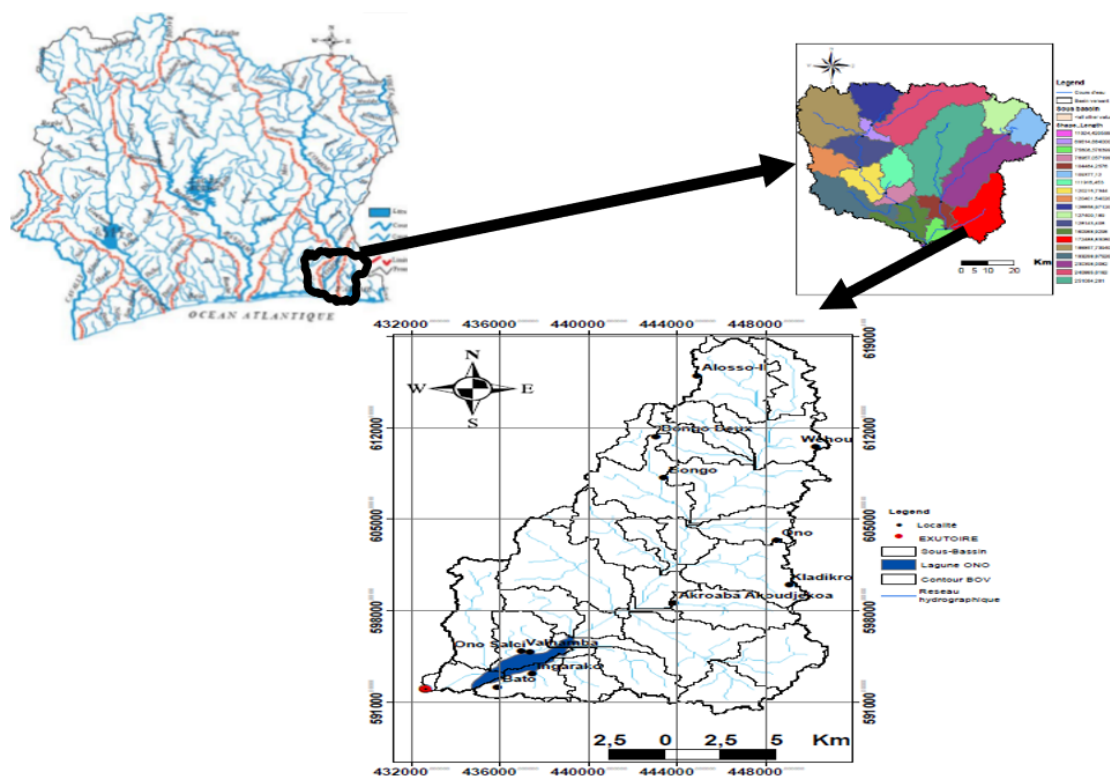


Figure 1: Carte de géolocalisation du Bassin Versant de Ono

### Pression exercée par les activités anthropiques sur le milieu

Les pressions polluantes sont définies comme l'ensemble des pratiques susceptibles d'entraîner une pollution (Christine, 2001). Il s'agit dans cette étude des pratiques agricoles qui peuvent induire la pollution de la rivière Ono. Ces pressions sont identifiées à travers l'analyse de l'occupation des sols du bassin versant qui alimente la rivière Ono (Rosi *et al.*, 2009). L'occupation du sol désigne l'ensemble des activités pratiquées à la surface du sol. Elle renferme les sources potentielles de pollution des retenues d'eau. En effet, ces sources potentielles de menace concernent les rejets des activités anthropiques susceptibles d'engendrer des polluants. Ainsi, l'estimation de la dose en azote épanchée (DN) sur toute l'étendue du BVO et l'indicateur de pression azote (InPrAzot) induite par les surfaces agricoles ont été évalués. L'enjeu ici est la sauvegarde de la qualité de l'eau de ladite rivière.

#### Carte d'occupation des sols

Ce paramètre a été obtenu à partir d'une image Landsat 8 OLI-TIRS du 25 Décembre 2017 de résolution 30 m à partir des scènes 196-55. L'acquisition de la carte de la couverture du sol de la zone d'étude à partir de cette image satellitaire a été possible grâce à la classification supervisée sous le logiciel ENVI 4.3. Les classes d'occupation du sol reconnues sont les suivantes: plan d'eau et cours d'eau, forêt dense, mosaïque forêt culture, mosaïque culture jachère, culture industrielle (Hévéa et Palmier à huile), sol nu et habitat. La carte d'occupation du sol de la zone d'étude a été exportée sous ArcMap afin d'être utilisée pour la détermination des autres facteurs intervenant dans le transfert des nitrates sur le BVO.

#### Estimation de la dose en azote épanchée (DN) sur toute l'étendue du bassin versant de Ono

La dose moyenne annuelle en azote (DN) issue des engrais NPK et de l'urée appliquée dans les différentes zones agricoles est donnée par l'équation (1):

$$DS = Qa \times Sf \times p \quad (1)$$

Avec:

DN: Dose moyenne annuelle en Azote (kg/an);

Qa: Quantité moyenne annuelle de fertilisant appliqué (kg/ha/an);

Sf: Surface fumée appliquée (ha);

p: Pourcentage moyen d'azote dans les produits fertilisant (%). Une interpolation des doses moyenne annuelle en Azote a été faite à l'aide de l'outil d'interpolation IDW sous le logiciel ArcGIS en vue de la spatialisation des données concernant les doses épanchées sur le bassin versant de Ono (BVO).

#### Évaluation de la pression azote (InPrAzot) induite par les surfaces agricoles

L'indicateur de pression azote (InPrAzot) suivant les zones agricoles BVO est obtenu par multiplication de la carte des doses d'azote épanchées et de la carte d'occupation du sol spécifique aux surfaces agricoles. Pour ce faire, la carte d'occupation du sol a été reclassée sous ArcGIS en affectant une valeur nulle aux zones non agricoles (plan d'eau et cours

d'eau; forêt dense; sol nu; et habitat et affleurement rocheux) et la valeur de la superficie emblavée aux zones agricoles (plantation d'ananas, d'hévéa et de palmier à huile). Cette démarche a permis d'évaluer au sein du BVO les quantités d'azote emblavées sur chaque zone agricole par rapport à leur surface spécifique. Ainsi, cinq classes de niveaux de pression des apports d'azote ont été définies à partir de la méthode de classification suivie par Antoni *et al.* (2002) à l'aide du logiciel ArcGIS suivi de l'affectation des cotes à leurs niveaux de pressions polluantes: 1 (très faible), 2 (faible), 3 (moyen), 4 (élevé) et 5 (très élevé) (Tableau 1).

**Tableau 1: Classification des niveaux de pressions polluantes d'azote induites par les surfaces agricoles du BVO (Antoni *et al.*, 2002)**

Quantités annuelles d'apport en azote par superficie agricoles (kg/an)	Cote	Niveau de pression polluante
0 - 131 708,8118	1	Très faible
131 708,8119 - 219 514,6863	2	Faible
219 514,6864 - 290 856,9593	3	Moyen
290 856,9594 - 329 272,0294	4	Élevé
329 272,0295 - 349 851,5313	5	Très élevé

#### Vulnérabilité de la ressource en eau aux nitrates

L'évaluation de la vulnérabilité à la pollution des eaux de surface passe par l'identification et l'évaluation des mécanismes susceptibles d'amener la charge polluante depuis la source jusqu'aux eaux de surface (El Ouali *et al.*, 2014). Si l'on exclut le transfert par voie aérienne, le transfert des polluants vers les eaux de surface se fait soit par le ruissellement (CORPEN, 2007), par l'érosion du sol vers le réseau hydrographique, étant donné qu'une partie des engrais peut être fixée ou absorbée sur les particules du sol (Le Bissonnais *et al.*, 2002). Dans cette étude, les indicateurs de la vulnérabilité du milieu au transfert de la pollution vers les eaux de surface liée à l'érosion hydrique des sols ont été évalués (Le Bissonnais *et al.*, 2002).

#### Indicateur de couverture végétale

La couverture du sol joue un rôle prépondérant dans l'érosion hydrique des sols. En effet, une terre boisée aura tendance à protéger les terres de l'érosion hydrique des sols tandis qu'une terre nue ou imperméabilisée aura tendance à faciliter l'érosion hydrique des sols. Dans ce travail, l'influence de la couverture du sol a été déterminée après une reclassification sous le logiciel ArcGIS des composantes de la carte d'occupation du sol suivant leurs indices de couverture végétale respectifs (facteur C) (Wischmeir et Smith, 1978). L'échelle de classement des indices végétaux tend vers 0 lorsque la sensibilité du milieu à augmenter l'érosion est très faible. Cependant, l'indice évolue vers 1 pour une sensibilité du milieu très élevée (Tableau 2).

**Tableau 2: Classification de la sensibilité du milieu liée à la couverture végétale (Wischmeir et Smith, 1978)**

Classe d'occupation du sol	Indices de couverture végétale	Cote	Sensibilité
Forêt dense, mosaïque forêt culture, culture industrielle (Hévéa, Palmier à huile)	0,001-0,1	1	Très faible
Mosaïque cultures jachères	0,30-0,40	3	Moyenne
Sols nus et habitats, eau	0,70-1,00	5	Très élevée

### Indicateur de l'érosivité de la pluie

L'érosivité de la pluie joue sur le débit du ruissellement et donc sur les possibilités de détachement des particules et la capacité de transport de l'écoulement. Par ailleurs, elle influence directement le détachement du sol (Fox *et al.*, 2008). Ce paramètre étant rarement disponible, l'équation simplifiée intégrant uniquement la hauteur de pluie moyenne, proposée par Roose (1977) pour l'Afrique de l'Ouest a été utilisée pour évaluer l'érosivité de la pluie sur la période d'étude 1986 à 2017.

L'érosivité de la pluie est exprimée par l'équation (2):

$$R = 0,5 \times P + 0,05 \quad (2)$$

Avec: R: Érosivité moyenne annuelle (MJ.ha<sup>-1</sup>.mm.an<sup>-1</sup>),  
P: Pluie moyenne annuelle (mm.an<sup>-1</sup>).

Par ailleurs, cette équation a été appliquée aux données de pluviométrie moyennes annuelles des stations pluviométriques environnant le bassin versant de Ono (Bonoua, Alépé et Adiaké) afin de déterminer l'érosivité moyenne annuelle de chaque zone. Les érosivités obtenues sont ensuite interpolées suivant l'option IDW sous le logiciel ArcGIS. Enfin, une classification cotée de 1 à 5 a été attribuée aux résultats de l'interpolation spatiale suivant la méthode de Antoni *et al.* (2012) (Tableau 3).

**Tableau 3: Classification de la sensibilité du milieu liée à l'érosivité des pluies (Antoni *et al.*, 2012)**

Érosivité des pluies (MJ.ha <sup>-1</sup> .mm.an <sup>-1</sup> )	Cote	Sensibilité
1 364 - 1 396	1	Très faible
1 396 - 1 420	2	Faible
1 420 - 1 444	3	Moyenne
1 444 - 1 470	4	Élevée
1 470 - 1 509	5	Très élevée

### Indicateur topographique: indicateur de facteur de pente LS

Le facteur topographique, facteur de pente "LS" utilisé dans cette étude est celui issu de la méthode de l'Equation Universelle des Pertes de Sol (USLE). Il représente la combinaison des effets de la longueur de pente "L" et du gradient "S" des pentes. Ce facteur permet d'évaluer les pertes de sols par l'érosion hydrique susceptibles d'absorber et d'entraîner les particules polluantes. De plus, la pente traduit les zones potentiellement favorables au ruissellement ou à l'infiltration. Ce facteur topographique "LS" du BVO a été développé sous ArcGIS suivant la méthode de Mitasova et Mitas (1999) améliorée par Engel (2003) (équations 3, 4 et 5):

$$LS = \left(\frac{As}{22,13}\right)^{0,4} \left(\frac{\sin\beta}{0,0896}\right)^{1,3} \quad (3)$$

$$\text{Flowacc} = \text{FlowAcc}(\text{FlowDir}([\text{elevation}])) \quad (4)$$

$$LS = \text{Pow}([\text{Flowacc}] \times \text{resolution} / 22,1 ; 0,4) \times \text{Pow}(\sin[\text{slope}] \times 0,01745 / 0,0896 ; 1,3) \quad (5)$$

Avec:

- LS: Longueur et inclinaison de pente;
- As: surface de contribution spécifique;
- β: angle de pente (en degré);
- Flowacc: surface d'accumulation des écoulements;
- Flowdir: direction des écoulement ;
- Pow: exposant;
- Sin: sinus.

A l'issu du calcul du facteur topographique, 5 classes de sensibilités ont été définies suivant Antoni *et al.* (2012) (Tableau 4).

**Tableau 4: Classification de la sensibilité du milieu liée au facteur de pente LS (Antoni *et al.*, 2012)**

Classes des valeurs du facteur de pente	Cote	Sensibilité
0,00 - 7,80	1	Très faible
7,81 - 15,60	2	Faible
15,61 - 23,40	3	Moyenne
23,41 - 31,20	4	Élevée
31,21 - 39,00	5	Très élevée

### Indicateur d'érodabilité des sols

L'érodabilité d'un sol qui est l'aptitude intrinsèque de ce sol à être détaché et transporté sous l'action conjuguée des gouttes de pluie et du ruissellement (Le Bissonnais *et al.*, 2002), est en partie fonction de ses propriétés physiques notamment sa texture et sa structure. Dans la région de Bonoua, les travaux effectués par Aké (2010) révèlent 4 classes de sensibilité à l'érosion hydrique liées à l'érodabilité du sol et ce en fonction du type de sol rencontré. Il s'agit entre autres des sols hydromorphes minéraux ou organiques (vulnérabilité faible), des sols ferrallitiques typiques sur granites ou sur schiste (vulnérabilité moyenne), des sols ferrallitiques sur sables tertiaires fortement remaniés et appauvris en argile (vulnérabilité forte), des sables quaternaires ou des sables marins actuels (vulnérabilité très forte). Ainsi les sols rencontrés sur le BVO sont des sols ferrallitiques sur sables tertiaires fortement remaniés et appauvris en argile et des sols hydromorphes minéraux ou organiques. Donc, deux classes de sensibilités à l'érosion hydrique liées à l'érodabilité du sol ont été définies en suivant la classification de Aké (2010) (Tableau 5).

**Tableau 5: Classification de la sensibilité du milieu liée à l'érodabilité d'un sol (Aké, 2010)**

Érodabilité des sols	Cote	Sensibilité
Sols ferrallitiques sur sables tertiaires fortement remaniés et appauvris en argile	4	Forte
Sols hydromorphes minéraux ou organiques	1	Faible

### Indicateur des pratiques de conservation des sols agricoles (Pc)

L'indicateur des pratiques de conservation des sols agricoles (Pc) correspondant aux pratiques de conservation des sols a été élaboré pour tenir compte des pratiques de conservation du sol. Il varie entre 0 et 1. Dans cette étude, la valeur de Pc a été prise égale à 1 à l'instar de l'étude de Coulibaly (2007) pour les zones de mosaïque de culture jachère et 0 pour les zones non agricoles ainsi que les zones de forêt dense et des plantations d'hévéa. En effet, les visites de terrain ont permis de constater que les paysans ne pratiquent pas de techniques anti-érosives. Aussi, les pratiques culturelles (labourage, attelage, etc.) contribuent-elles à accentuer davantage le phénomène d'érosion. Cependant, pour ce qui concerne les zones de forêt dense, les plantations d'hévéa et de palmier à huile constituent elles-mêmes des barrières à l'érosion hydrique des sols. Ainsi, la sensibilité du milieu liée aux pratiques agricoles reste très élevée (cote 5) pour les zones de Ono et localités environnantes et très faibles (cote 1) pour les autres zones du BVO.

**Carte de risques potentiels de transfert du nitrate vers les eaux de surface du bassin versant de Ono induit par l'érosion hydrique**

L'Équation Universelle des Pertes de Sol (USLE) de Wischmeier et Smith (1978) a été utilisée pour la détermination des quantités de terre érodées. Ainsi le risque potentiel de transfert de la pollution des nitrates par les pertes de sols (Re) sur le BVO a été évalué à partir de l'équation (6) à l'aide de l'outil ArcGIS. Après normalisation des valeurs obtenues, les classes de risques allant de 1 (très faible) à 4 (élevé) ont été constituées.

$$Re = \text{InPrAzot} \times (R \times K \times \text{LS} \times C \times \text{Pc}) \tag{6}$$

Avec:

Re: Carte du risque potentiel du milieu au transfert de la pollution par l'érosion hydrique; InPrAzot: Carte de sensibilité du milieu liée à la pression polluante des apports en azote; R: Carte de sensibilité du milieu liée à l'érosivité de la pluie; K: Carte de sensibilité du milieu liée à l'érodabilité des sols; LS: Carte de sensibilité du milieu liée au facteur LS (Longueur et inclinaison des pentes); C: Carte de sensibilité du milieu liée à la couverture végétale du sol; Pc: Carte de sensibilité du milieu liée aux pratiques de conservation des sols.

**RÉSULTATS**

**Pression des quantités d'azotes épanchées sur les eaux de surface du bassin versant de Ono**

**Variation spatiale de la dose d'azote appliquée sur le bassin versant de Ono**

La Figure 2 montre la variation spatiale des doses moyennes annuelles d'azote (DN) épanchées sur le BVO sur la saison culturale 2017-2018. Les plus fortes DN (>43,9) étaient épanchées dans la zone Sud et Sud-Est partant de Bato à Kladikro tandis que les plus faibles sont localisées au Nord et au Nord-Ouest du BVO en allant de Bongo à Alosso-II.

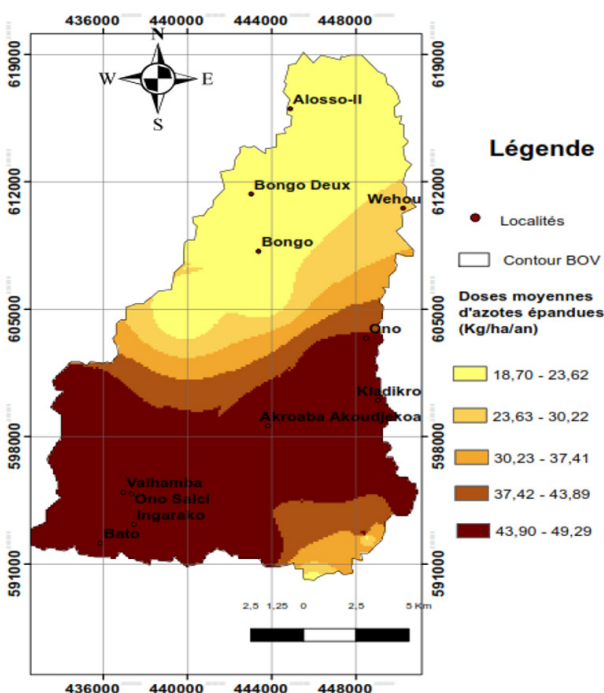


Figure 2: Variation spatiale des doses annuelles d'azote appliquées sur le bassin versant de Ono

**Carte de l'indicateur de pression de l'épandage d'azote dans les zones agricoles**

Les niveaux de pression de l'épandage de l'azote (InPrAzot) sur les zones agricoles du BVO sont présentés par la Figure 3. L'InPrAzot est élevé et très élevé dans la zone Sud et Sud-Ouest du BVO (>329 272 kg/an). Par contre, il reste très faible au Nord du BVO, dans la zone de Bongo (<131 709 kg/an).

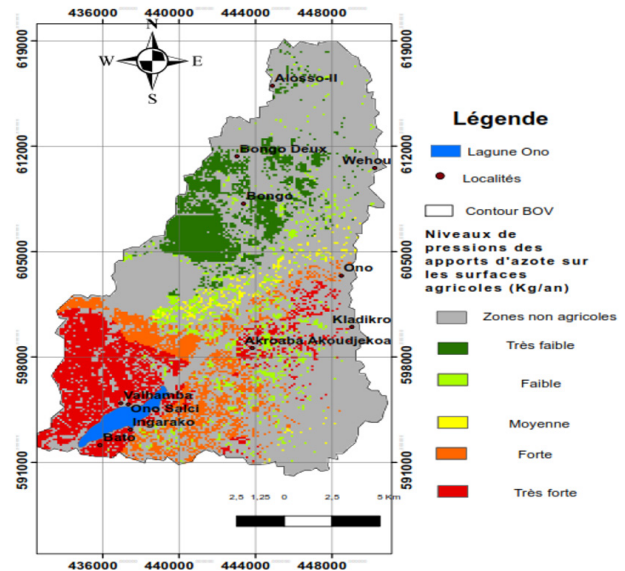


Figure 3: Carte de pression des quantités moyennes annuelles d'azote épanchées sur les zones agricoles du bassin versant de Ono

**Carte d'occupation du sol du bassin versant de Ono**

La Carte d'Occupation du Sol (COS) obtenue à partir de la classification de l'image issue de la scène 196-55 du satellite Landsat 8 OLI-TIRS du 25 Décembre 2017 est représentée par la Figure 4. La COS du BVO affiche six (6) classes avec des proportions surfaciques évoluant de façon croissante de 6,25% (eau); 6,72% (Sols nus et habitats); 9,67% (Forêt dense); 17,8% (Mosaïque forêts cultures); 20,5% (Mosaïque cultures jachères); et 29,1% (Cultures industrielles d'Hévéa et de Palmier à huile). Ainsi on remarque que la plupart des zones de mosaïque cultures jachères se rencontrent au Sud-Ouest du BVO dans la zone de Ono-Salci; les grandes plantations d'hévéa et de palmier à huile se rencontrent au Nord dans la zone de Bongo; la grande forêt dense du BVO se trouve entre Ono-Salci et Bongo; les mosaïques forêts cultures et les sols nus et habitats se retrouvent disséminés sur tout l'ensemble du BVO.

**Sensibilité des paramètres du bassin versant de Ono au transfert de la pollution vers les eaux de surface**

**Sensibilité du milieu liée à la couverture végétale**

La Figure 5 présente la sensibilité du milieu liée à la couverture végétale (Cv) du BVO. La partie Nord-Ouest et Nord du BVO (Bongo, Alosso, Wehou) est celle qui renferme des zones à indice de couverture végétale très forte, présentant une sensibilité très faible à l'érosion hydrique. Cette zone représente la plus grande superficie sur le BVO (53,1%). La zone Sud-Ouest (Ono Salci, Bato, Ingarako) présente une sensibilité moyenne à l'érosion et couvre une superficie de 22,0%. Les zones de sensibilités très élevées

à l'érosion hydrique du fait de la couverture végétale sont disséminées sur le BVO et représentent 23,8% de la superficie totale du BVO.

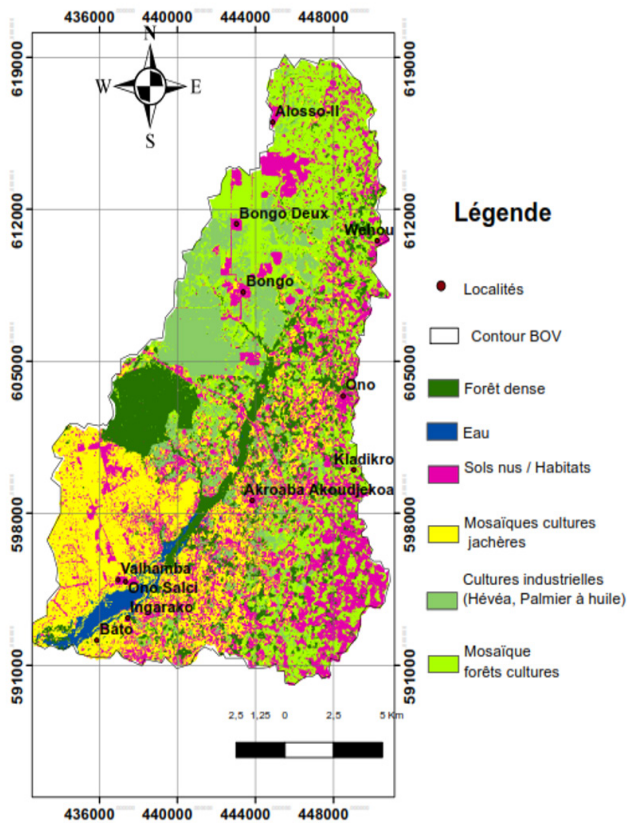


Figure 4: Carte d'occupation du sol du bassin versant de Ono

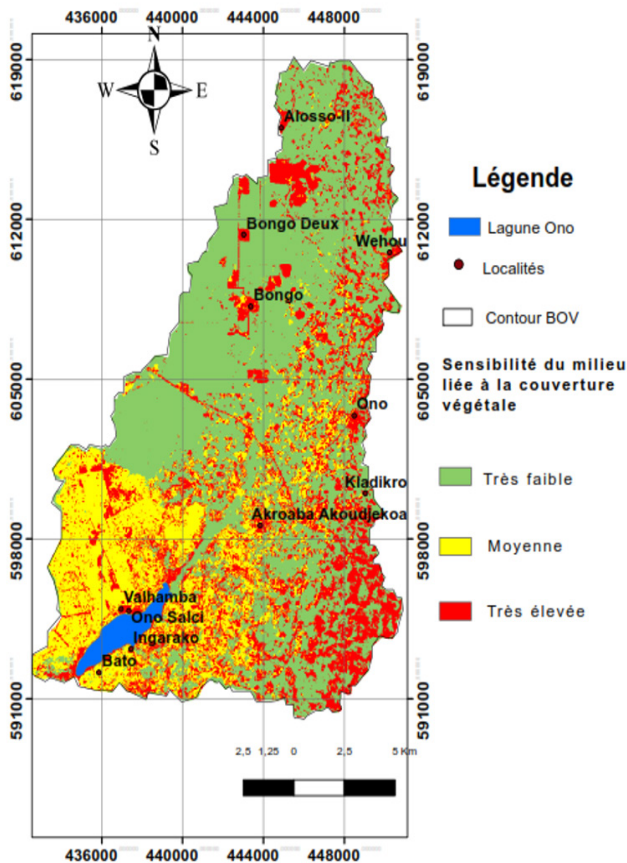


Figure 5: Carte de sensibilité du milieu liée à la couverture végétale du bassin versant de Ono

### Sensibilité du milieu liée à l'érosivité de la pluie

La figure 6 présente la sensibilité du milieu liée à l'érosivité des pluies (R) sur le BVO. La partie Ouest et Nord-Ouest a une très faible sensibilité liée à l'érosivité des pluies. Les très fortes sensibilités sont observées au Nord-Est et au Sud-Est du BVO. La partie médiane du BVO présente des sensibilités faibles et moyennes tandis que les fortes sensibilités sont perçues à l'Est du BVO.

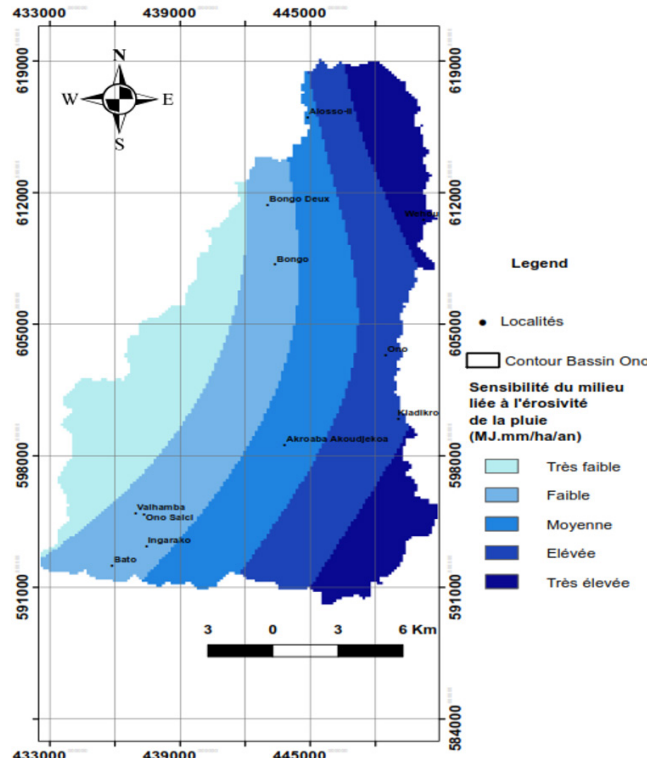


Figure 6: Carte de sensibilité liée à l'érosivité des pluies sur le bassin versant de Ono

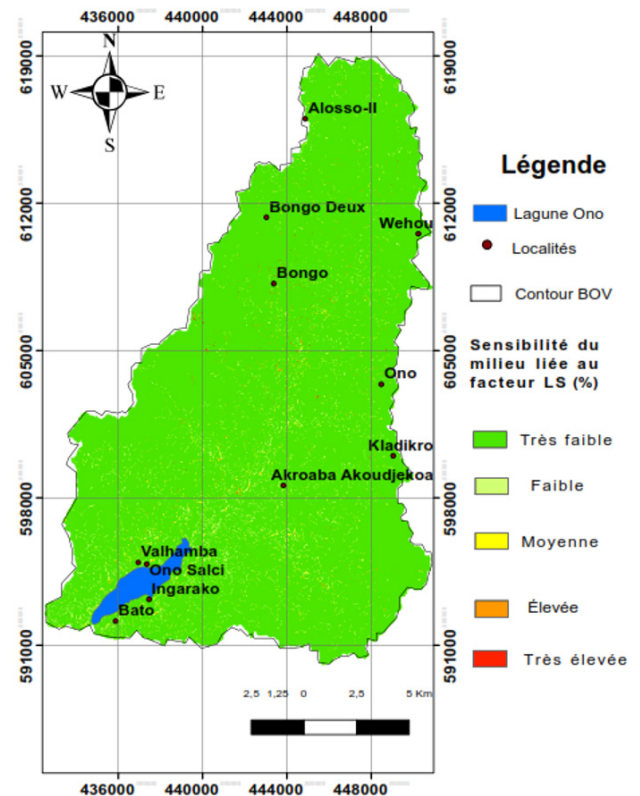


Figure 7: Carte de sensibilité du milieu liée au facteur de pente



**Sensibilité du milieu liée au facteur de pente**

Le BVO présente un facteur de longueur et d'inclinaison de pente (LS) très faible (< 15%) sur une superficie de l'ordre de 99,7% (Figure 7). Ainsi la sensibilité du BVO à l'érosion hydrique liée au facteur LS reste pratiquement la même sur tout le bassin.

**Sensibilité du milieu liée à l'érodabilité des sols**

La sensibilité du bassin versant de Ono liée à l'érodabilité des sols (K) est présentée par la Figure 8. La majeure partie du BVO (94,6%) a une sensibilité élevée à K (sable tertiaire fortement désaturé appauvri en argile). La partie centrale longeant la lagune Ono (5,42% du BVO) a une sensibilité très faible à l'érosion (sol hydromorphe).

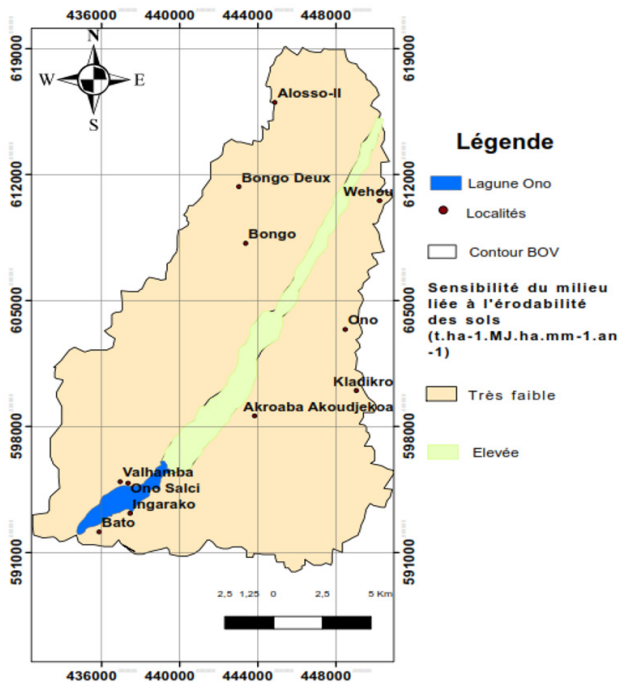


Figure 8: Carte de sensibilité du milieu liée à l'érodabilité des sols du bassin versant de Ono

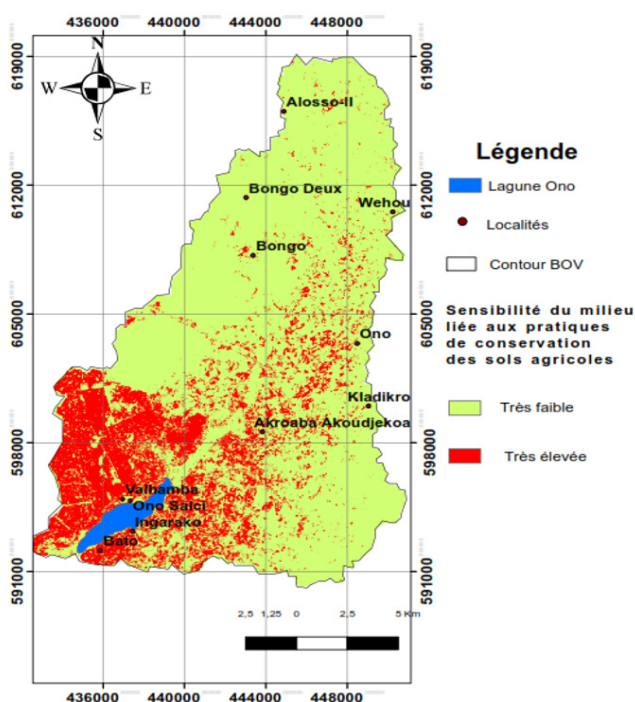


Figure 9: Carte de sensibilité du milieu liée aux pratiques de conservation des sols agricoles dans le bassin versant de Ono

**Sensibilité du milieu liée aux pratiques de conservation des sols agricoles**

La sensibilité du milieu liée aux pratiques de conservation des sols agricoles dans le bassin versant de Ono, présentée par la Figure 9, permet de montrer que plus de 22,0% de la superficie du BVO constituent des zones agricoles dont les sols ne sont pas très bien conservés. Elles sont localisées dans la partie Sud-Ouest et Centre du BVO (Ono-Salci, Bato, Akroaba Akoudjekoa). Les 78,0% de la superficie du BVO très peu sensible concernent les zones non agricoles (habitats et sols nus), la forêt dense de Bongo ainsi que les plantations d'hévéa et de palmier à huile qui constituent elles-mêmes des barrières à l'érosion hydrique.

**Risques potentiels de transfert du nitrate vers les eaux de surface du BVO par l'érosion hydrique des sols**

Les très faibles risques de transfert des nitrates vers les eaux de surface représentent 45,3% de la superficie du BVO (Figure 10). On les retrouve dans les zones de forêt dense et de mosaïque forêt culture. Les faibles risques de transfert des nitrates vers les eaux de surfaces par l'érosion hydrique des sols concernent 20,2% de la superficie du BVO. Ces zones représentent les sols nus et habitats presque disséminés partout sur le bassin versant. Les zones de vulnérabilités moyennes correspondent aux plantations industrielles d'hévéa et de palmier à huile de la zone de Bongo. Ces zones représentent 9,29% de la superficie du BVO. Les risques élevés, dont la classe occupe 25,20% de la superficie du BVO, s'observent aux Sud-Ouest du BVO dans les zones de culture d'ananas de Ono-Salci et localités environnantes.

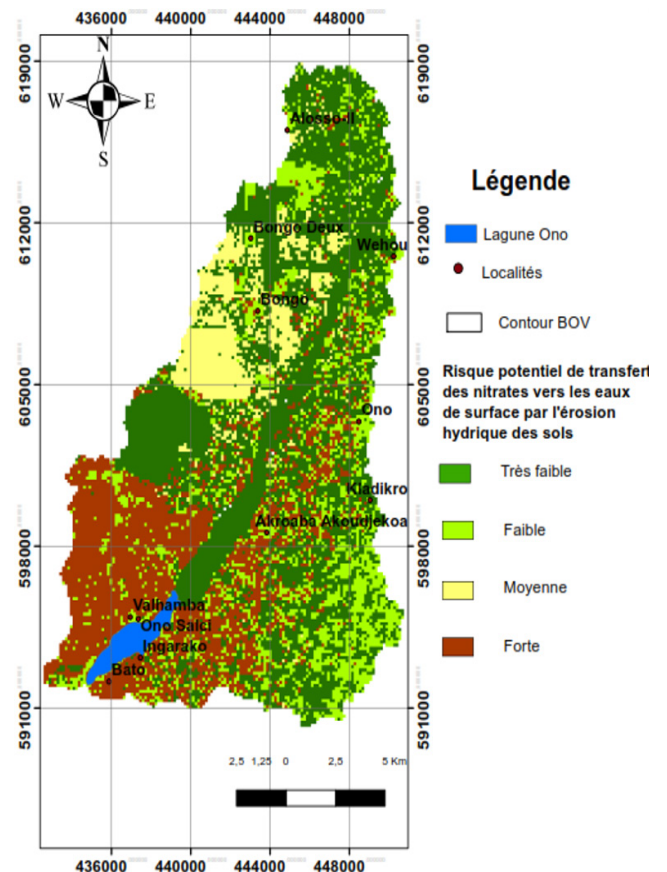


Figure 10: Carte de risques potentiels de transfert des nitrates vers les eaux de surface du bassin versant de Ono par l'érosion hydrique des sols

## DISCUSSION

L'étude a mis en évidence l'évaluation des risques potentiels de contamination des eaux de surface par les nitrates dans le bassin versant de Ono (BVO) afin d'attirer d'avantage l'attention des décideurs et des acteurs sur le risque lié aux apports anthropiques de l'azote dans les zones agricoles. Ainsi, un modèle spatial, permettant l'évaluation du risque potentiel de contamination des eaux de surface par le nitrate sur le BVO, suivant la composante d'érosion hydrique des sols a été mis en œuvre. En effet, tous les indicateurs de sensibilité à l'érosion du BVO jouent des rôles plus ou moins importants dans le phénomène érosif. On peut remarquer que le bassin versant de Ono présente un facteur de longueur et d'inclinaison de pente (LS) très faible (comprises entre 0 et 8%) sur une superficie de l'ordre de 99,7%. A priori, elles ne présentent pas de vulnérabilité majeure au phénomène d'érosion hydrique des sols, car le ruissellement dans ces zones est aussi négligeable. Cela rend ainsi difficile le transport des polluants vers les eaux de surface. En effet, selon Jourda *et al.* (2007), les pentes faibles favorisent l'infiltration de tout contaminant présent, et les pentes élevées favoriseront le ruissellement de tout contaminant présent à la surface du sol vers les eaux de surface. Cependant, les études de Proffitt et Rose (1991) ont montré que même sur une pente inférieure à 1%, l'érosion peut se produire. Il s'agit d'une érosion en nappe avec quelques îlots répartis dans les endroits où les eaux de ruissellement ne parviennent pas à se concentrer. Aussi, le processus d'érosion dominant sur le BVO est le détachement pluvial occasionné par l'érosivité des pluies comme l'ont montré Ghadiri et Rose (1991) dans leur étude. L'érodabilité prononcée du type de sol rencontré sur la majeure partie du BVO excepté les zones se trouvant le long du cours d'eau principal du BVO joue un rôle prépondérant dans le phénomène d'érosion. Par ailleurs, selon Fournier (1967), en l'absence de couvert végétal, les caractères des horizons superficiels rencontrés sur le BVO joueraient un rôle primordial dans le déclenchement et le développement de l'érosion. Cependant, la distribution quasi uniforme sur l'ensemble du BVO de la plupart de ces indicateurs de sensibilité (facteur LS et érodabilité) à l'érosion ne permet pas d'apprécier leur contribution dans la distribution spatiale de la vulnérabilité du bassin. Par conséquent la vulnérabilité spatiale de l'érosion hydrique des sols serait dans le cas de notre étude liée essentiellement aux pratiques agricoles, à la couverture végétale, aux pratiques anti-érosives et à l'érosivité des pluies.

Le sol autour du BVO est occupé par plusieurs activités qui se déploient en couronne autour de la lagune Ono. L'essentiel de l'espace est occupé dans sa partie Sud-ouest (la zone de Ono-Salci) et Nord dans la zone de Bongo de Mosaïque cultures jachères (20,5%) et Cultures industrielles d'Hévéa et de Palmier à huile (29,1%). L'importante proportion des zones agricoles dans le BVO s'explique principalement par le fait que l'économie de la population rurale du pays et en particulier de cette zone est basée principalement sur les activités agricoles. De plus, l'amélioration des prix des principaux produits agricoles de la région tels que le palmier à huile et l'hévéa au cours des dernières années serait le moteur de l'expansion des surfaces cultivées par les agriculteurs et les producteurs de la région. La

vulgarisation agricole s'est également accompagnée de la fourniture de grandes quantités d'intrants agricoles tels que les engrais et les produits phytosanitaires aux agriculteurs et producteurs (Birkhaeuser *et al.*, 1991). Selon la carte des risques de pollution, la contamination des eaux de surface est très probable si des mesures urgentes ne sont pas prises par les décideurs. Les risques élevés de transfert des nitrates dont la classe occupe 25,2% de la superficie du BVO s'observent aux Sud-Ouest du BVO dans les zones de culture d'ananas de Ono-Salci, Bato et Ingarako. Cette situation pourrait s'expliquer par le fait que la pression polluante d'azote dans ces zones reste élevée ((InPrAzot >329 272 kg/an) à cause de l'utilisation forte d'azote dans les vastes plantations d'ananas. Ces mêmes observations ont été faites par Eba *et al.* (2016). Cela pourrait aussi expliquer le risque élevé de transfert des nitrates vers les eaux de surface du BVO. En effet, ces zones correspondent aux zones de mosaïque culture jachère représentée en majorité par les vastes plantations d'ananas de la Société de Culture et de développement de la Banane (SCB) dans la zone de Ono-SALCI. Ces zones ont une couverture végétale très faible et aucune pratique de conservation des sols n'est mise en place en vue de limiter l'érosion hydrique des sols. De même, les très fortes vulnérabilités à la pollution observées sur tout le BVO seraient dues au type de sol sableux facilement érodable. Les résultats de cette étude confirment ceux de Aké (2010) qui avait montré que les zones de culture d'hévéa et de forêt dense avaient une faible vulnérabilité à l'érosion hydrique dans la région de Bonoua tandis que les fortes vulnérabilités étaient observées au niveau des sols nus et habitats et au niveau des zones de culture d'ananas de Ono-SALCI. Par ailleurs, 45,3% de la superficie du BVO présente une très faible vulnérabilité au transfert des nitrates par l'érosion hydrique des sols. Ces zones sont constituées des mosaïques forêts cultures et de la forêt dense. Cette très faible vulnérabilité est due au fait que ces zones, en plus de n'être exposées à quasiment aucun apport d'engrais azoté, ont une vulnérabilité à l'érosion hydrique très faible due à la couverture végétale importante. EL Garouani *et al.* (2005), Le Bissonnais (2005), Coulibaly *et al.* (2007) et Akpo (2013) ont montré que la bonne couverture végétale assure la protection des sols contre l'énergie d'extraction des particules de sol par les gouttes de pluie. Cependant, un site avec un indice de vulnérabilité faible n'est pas à l'abri d'une contamination, mais un tel site est moins susceptible à la contamination par rapport à un site ayant un indice de vulnérabilité à la pollution élevée (Osborn *et al.*, 1998). Comme tout outil d'analyse, la méthode appliquée pour la modélisation spatiale du transfert des nitrates vers les eaux de surface du BVO a comporté certaines difficultés. En effet, le Système d'Information Géographique (SIG) a assuré une synthèse de plusieurs paramètres à travers une analyse multicritère. Cette synthèse a permis la réalisation d'une carte de risque de transfert des nitrates vers les eaux de surface de ce bassin. Cependant, pour Youan Ta (2008), l'utilisation des SIG révèle souvent de multiples problèmes liés à la qualité, au nombre souvent insuffisant des données, à leur interpolation et la notion de variabilité spatio-temporelle. Aussi, la difficulté dans la réalisation d'une carte de vulnérabilité à la pollution à l'aide d'un SIG réside-t-il de façon générale dans le nombre et la qualité des paramètres à prendre en

compte. La fiabilité (qualité des données souvent douteuse) et le nombre très limité des données ne permettent souvent pas une bonne évaluation spatiale des critères. En plus, comme remarqué par Eba *et al.* (2013), la subjectivité des poids et des cotes assignées aux paramètres dans l'application de l'analyse multicritère est un facteur limitant. De même, les valeurs attribuées aux paramètres ont parfois tendance à surestimer ou sous-estimer le degré de vulnérabilité de la ressource. Toutefois, l'approche géomatique appliquée a permis d'évaluer le risque de transfert des nitrates vers les eaux de surface de ce bassin. La prise en compte de plusieurs facteurs de transfert des nitrates vers les eaux de surfaces tel que le transfert par ruissellement, le transfert par érosion éolienne et le transfert des nitrates dû à la proximité des zones agricoles aux cours d'eau et à l'exutoire du bassin pourrait permettre d'obtenir des résultats décrivant au mieux le transfert des nitrates vers les eaux de surfaces du BVO.

## CONCLUSION

La cartographie des zones de risques potentiels de transfert des nitrates vers les eaux de surface du bassin versant de Ono (BVO) a été élaborée à la suite du croisement d'un certain nombre de cartes d'indicateurs de sensibilité du milieu au transfert de la pollution ainsi que la carte de l'indicateur de pression polluante d'azote épandu.

Le but de ce travail était d'attirer d'avantage l'attention des décideurs et des acteurs sur les risques liés aux apports anthropiques d'azote dans les zones agricoles. Ainsi la carte de risque de transfert des nitrates vers les eaux de surface obtenue révèle que 25,2% de la superficie du BVO présente des risques élevés de transfert de nitrates vers les eaux de surfaces dus aux fortes pressions anthropiques (labour des terres, épandage d'engrais) exercées dans ces zones. Ces zones, se trouvant à proximité de la lagune Ono, pourraient affecter considérablement la qualité de celle-ci. Par ailleurs, 65,5% de la superficie du BVO présente des risques de transfert des nitrates vers les eaux de surface faibles (20,2%) et très faibles (45,3%) du fait de la forte couverture végétale et de l'épandage d'engrais très faible dans ces zones. Les risques moyens représentent 9,29% du BVO et sont perçus au niveau des plantations d'hévéa et de palmier à huile de Bongo qui ont une bonne couverture végétale, mais utilisent également de l'engrais azoté, d'où la vulnérabilité moyenne au transfert des nitrates. Ainsi cette méthode de modélisation spatiale utilisée dans le cadre de cette étude permet de simuler facilement les risques de transfert de nitrates vers les eaux de surface du BVO. Cependant, la prise en compte des autres facteurs de transfert des nitrates pourrait permettre d'avoir des résultats plus probants. Aussi, certes les classes de risques faibles et très faibles dominant sur le BVO, mais cela n'exclut pas la prise en compte de mesures de contrôle du transfert du nitrate dans les ressources en eau telles que toutes les activités à risque comme les installations ou extensions de plantations à l'approche de la lagune et des cours d'eau du bassin. En somme, toutes activités inhérentes à la production de contaminant doivent être réglementées ou interdites.

## RÉFÉRENCES

- Aké G. E. (2001). Évaluation des ressources en eau souterraine de la région de Bonoua. Mémoire de DEA des sciences de la terre, Université de Cocody, Côte d'Ivoire, 72 p.
- Aké G. E. (2010). Impacts de la variabilité climatique et des pressions anthropiques sur les ressources hydriques de la région de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat Unique, Université de Cocody, Côte d'Ivoire, 200 p.
- Akpo K. S. (2013). Application de la géomatique à l'identification des zones vulnérables à la pollution: cas du bassin versant de la Marahoué, côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat des sciences et gestion de l'environnement option Géosciences et Environnement, Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire, 176 p.
- Anoh K. A., Jourda J. P., Kouamé K. J., Koua T. J. J., Eba A., E. Gabriel L. (2012). Demarcation of protection perimeters for surface waters of Taabo (Côte d'Ivoire) watershed using GIS and multicriteria analysis. *Environmental Engineering and Management Journal*, 11: 2123-2131.
- Antoni J. P., Klein O., Moisy S. (2002). La discrétisation temporelle. Une méthode de structuration des données pour la cartographie dynamique. *Carte et géomatique*, 213: 27-31.
- Birkhaeuser, D., Evenson R.E. and F. Gershon (1991). The Economic Impact of Agricultural Extension: A Review. *Economic Development and Cultural Change*, 39: 607-650.
- Christine, T. (2001). Diagnostic du risque de pollution des eaux superficielles par les produits phytosanitaires: Typologie des bassins versants du beaujolais viticole. Mémoire de fin d'études, École Nationale d'Ingénieurs des Travaux Agricoles de Bordeaux.
- Corpen G. (2007). Les fonctions environnementales des zones tampons, les bases scientifiques et techniques des fonctions de protection des eaux. Rapport, Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'aménagement du territoire et Ministère de l'agriculture et de la pêche, Paris, France, 176 p.
- Costa, J.L., Massone, H., Martinez, D., Suero, E. E., Vidal, C. M., Bedmar, F. (2002). Nitrate contamination of a rural aquifer and accumulation in the unsaturated zone. *Agricultural Water Management*, 57: 33-47.
- Coulibaly N., Goula B. T. A., Coulibaly L., Savané I. (2007). Modélisation spatio-temporelle de l'érosion hydrique à partir de la méthode USLE en zone de savane tropicale humide: cas du Bassin versant du Baoulé (Côte d'Ivoire). *European Journal Scientific Research*, 16: 213-221.
- Eba A. E., Kouame K. J., Jourda J. P., Ake G. E., Saley M. B., Anoh K. A., Deh S. K. (2013). Demarcation of Surface Water Protection Perimeters by Using GIS: Case of Gagnoa Reservoir in West Central of Côte d'Ivoire. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 4: 1311-1320.
- Eba A. E., Kouame K. J., Jourda J. P., Saley M. B., Anoh K. A., Deh S. K., Touré M., Balliet R. (2016). Évaluation de la vulnérabilité à la pollution d'une eau de surface destinée à l'adduction d'eau potable d'une métropole. Cas de la Lagune Aghien à Abidjan, (Sud de la Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal*, 12: 1857- 7431.
- Effini A.T. (2007). Évaluation de la qualité chimique et bactériologique de la nappe de Bonoua et contribution à la protection de la nappe. Mémoire de DEA, Université de Cocody, Côte d'Ivoire, 73 p.
- El Garouani A., Merzouk A., Jabrane R., Boussema M. R. (2005). Analyse spatiale de l'érosion en nappe et de l'infiltrabilité des sols dans le pré-rif marocain. *Télétection*, 5: 69-80.
- El Ouali Lalami, A., Merzouki, M., El Hillali, O., Maniar, S., Koraichi, I. (2014). Pollution des eaux de surface de la ville de Fès au Maroc: Typologie, origine et conséquences. *Larhyss Journal*, 9: 55-72.
- Engel B. (2003). Estimating soil erosion using RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) using Arcview.

- Eyi A. J., Konan K. J., Tano K., N'da K., Atse B. (2016). Étude préliminaire des communautés ichtyofauniques de la lagune Ono (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 104: 9894-9903.
- Fournier F. (1967). Les facteurs de l'érosion du sol par l'eau; les recherches sur la conservation du sol en Afrique et Madagascar. *Sols africains*, 12: 6-51.
- Fox D. E., Stieve I., Valiela J. Hauxwell E., McClelland J. (2008). Macrophyte abundance in Waquoit Bay: Effects of land-derived nitrogen loads on seasonal and multi-year biomass patterns. *Estuaries and Coasts*, 31: 532-541.
- Ghadiri H., Rose C. W. (1991). Sorbed chemical transport in over-land flow: II. Enrichment ratio variation with erosion processes. *Journal of Environmental Quality*, 20: 634-641.
- Hansen B. Thorling L., Dalgaard T., Erlandsen M. (2010). Trend reversal of nitrate in Danish groundwater- a reflection of agricultural practices and nitrogen surpluses since 1950. *Environmental Science and Technology*, 45: 228-234.
- Jourda J. P., Kouassi K. J., Adja M. G., Deh S. K., Anani A. T., Effini A. T., Biemi J. (2007). Évaluation du degré de protection des eaux souterraines: vulnérabilité à la pollution de la nappe de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire) par la méthode DRASTIC. Acte de conférence Francophone ESRI, Versailles, 18 p
- Le Bissonnais Y., Daroussin J., Jamagne M., Lambert J.-J., Le Bas C., King D., Cerdan O., Léonard J., Bresson L. M., Jones R. J. A. (2005). Pan-European soil crusting and erodibility assessment from the European Soil Geographical Data base using pedotrans ferrules. *Advances in Environmental Monitoring and Modelling*, 2: 1-15.
- Mariotti A. (1994). Denitrification *in situ* dans les eaux souterraines, processus naturels ou provoqués: une revue. *Hydrogéologie* (Orléans), 3: 43-68.
- MEMA (2001). Recensement national de l'agriculture, analyse des données, niveau national. Direction des Statistiques, de la Documentation et de l'Informatique, rapport, 90 p.
- Mitasova H., Mitas L. (1999). Modeling Soil Detachment with RUSLE Using GIS. Geographic Modelling Systems Laboratory, University of Illinois, Urbana-Champaign, USA, 57 p.
- Osborn N. I., Eckenstein E., Koon K. Q. (1998). Vulnerability assessment of twelve major aquifers in Oklahoma. *Oklahoma Water Resources Board, technical report*, 14 p.
- Perraud A., De la Souchere P. (1970). Carte de l'Esquisse Pédologique de la Côte d'Ivoire à l'échelle 1/500 000 (feuille Sud-Est, Ministère de l'Agriculture), 3 p.
- Proffitt A. P. B., Rose C. W. (1991). Soil erosion processes. II. Setting velocity characteristics of eroded sediment. *Soil Research*, 29: 685-695.
- Rosi, S., Stamm, C., Reichert P. (2009). Modeling Potential Herbicide Loss to Surface Waters on the Swiss Plateau. *Journal of Environmental Management*, 91: 290-302.
- Wischmeier W. H., Smith D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. US Department of Agriculture, *Agriculture handbook*, 537, 58 p.
- Youan Ta M (2008). Contribution de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques à la prospection hydrogéologique du socle précambrien d'Afrique de l'ouest: cas de la région de Bondoukou (Nord-Est de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody, Côte d'Ivoire, 237 p.

# Flore adventices des vergers de l'anacardier en Casamance: Caractérisation de la flore et niveau d'infestation

S. L. KA<sup>1</sup>, R. MBALLO<sup>2</sup>, M. GUEYE<sup>3</sup>, R. N. ONDOUA<sup>4</sup>, M.S. MBAYE<sup>1</sup>, K. NOBA<sup>1</sup>

(Reçu le 24/10/2022; Accepté le 10/11/2022)

## Résumé

Au Sénégal, l'anacardier est une culture de rente dans les zones sud et une partie de la région de Fatick. Sa culture est essentiellement pratiquée par des ménages majoritairement vulnérables. Malgré les potentialités, la productivité nationale demeure faible avec moins de 0,4 tonne à l'hectare. Cette étude vise à contribuer à une meilleure connaissance de la diversité floristique des adventices des vergers de l'anacardier en Haute et Moyenne Casamance. Dans chacun des vergers prospectés, cinq placettes de 0,25 m<sup>2</sup> ont été installées suivant les diagonales et l'ensembles des espèces et des individus ont été répertoriés. Il ressort des résultats que la flore des vergers est composée de 66 espèces appartenant à 47 genres et 15 familles. Les Fabaceae (32 %), Poaceae (21 %) et Malvaceae (11 %) sont les familles les plus représentées. Le plus grand nombre d'espèces fut enregistré en Moyenne Casamance où 40 espèces et 31 genres ont été notées contre 37 espèces et 29 genres en Haute Casamance. L'évaluation quantitative des espèces à travers leur valeur écologique a ressorti que *Spermacoce stachydea*, *Mesosphaerum suaveolens*, *Andropogon pseudapricus*, *Mitracarpus hirtus* sont les espèces les plus infestantes dans les vergers d'anacardier avec des variations en fonction des zones. L'étude de la diversité à travers l'indice de Shannon-Weaver (H') indique qu'elle est en moyenne de 1,23 bit et ne varie pas significativement d'une zone à l'autre. Cependant, en valeur absolue, l'indice de Shannon (H') est plus élevée à Sédhiou avec 1,34 bit alors qu'à Kolda la diversité est en moyenne de 1,11 bit.

**Mots-clés:** Anacardier, Adventices, Diversité, Infestation, IVI index, Sénégal

## Weed flora of cashew in Casamance: characterization of the flora and level of infestation

### Abstract

Cashew is one of the most important cash crop in southern Senegal. However, the productivity of cashew plantations is quite low due to many factors including the problem of weeds. This study aims to contribute to the knowledge of the floristic composition and diversity of weeds in cashew plantation of southern Senegal. In the assessed orchards, 66 weed species belonging to 47 genera and 15 families were recorded. Fabaceae, Poaceae and Malvaceae were the most represented botanical families with respectively 32%, 21% and 11% of flora. The highest number of species was recorded in Middle Casamance where 40 species and 31 genera were noted while 37 species and 29 genera were found in Upper Casamance. The evaluation of the ecological value of species (IVI index) showed that *Spermacoce stachydea*, *Mesosphaerum suaveolens*, *Andropogon pseudapricus*, *Mitracarpus hirtus* are the most noxious species in cashew plantations. Results also showed that vegetation diversity (Shannon-Wiener and Pielou index) do not differ significantly from a district to another. However, the highest value of Shannon index (H') was recorded in Lower Casamance with 1.34 bit while in Upper Casamance the diversity is on average of 1.11 bit.

**Keywords:** Cashew plantation, Weeds, Diversity, Infestation, IVI index, Senegal

## INTRODUCTION

L'anacardier ou pommier-cajou est une espèce de la famille des Anacardiaceae originaire de l'Amérique tropicales cultivée pour sa production de noix et de pomme de cajou. Aujourd'hui, il est largement retrouvé en Afrique, aux Antilles, au Brésil, en Asie du Sud-Est, en Chine et en Inde (Piperno, 2011). Au Sénégal, l'espèce fut introduite vers le milieu des années quarante essentiellement à des fins de reboisement et de conservation des sols (PADEC/IRD, 2014; Dieng *et al.*, 2019). En effet, en plus de produire des noix, l'anacardier permet de lutter contre l'érosion et de reconstituer très rapidement les espaces agricoles dégradés par la culture extensive (Aïvodji et Anassidé, 2009).

De nos jours, il constitue une culture de rente en plein essor et représente une opportunité à travers l'exportation de ses noix. Plus de la moitié (55%) des deux millions tonnes de la production mondiale vient de l'Afrique avec en tête la Côte d'Ivoire (OIT, 2020). Au Sénégal, la production de noix de cajou bruts est estimé à 40 000 tonnes soit 0,8% de la production mondiale (Planetoscope, 2019; Dieng *et al.*, 2019). Les principales zones de production sont les

régions de Ziguinchor, Sédhiou et Kolda qui couvrent 90% de la production nationale de noix brutes (PADEC, 2016). Malgré son importance et les potentialités, les rendements demeurent faibles entre 250 et 400 kilogrammes à l'hectare et la croissance enregistrée ces dernières années est subséquente à l'augmentation des superficies emblavées qui sont passées de 910 km<sup>2</sup> en 1986 à 1908 km<sup>2</sup> en 2017 (Samb *et al.*, 2018).

Au Sénégal, notamment dans sa zone sud, la culture de l'anacardier est soumise à de nombreuses contraintes biotiques et abiotiques contribuant à la faiblesse des rendements. Il s'agit entre autres de l'utilisation de matériel végétal non-amélioré, de l'absence de maîtrise des facteurs de production et des maladies telles que la bactériose, la rouille, l'antracnose et des ravageurs (Sarr, 2002; Silué *et al.*, 2017; N'Depo *et al.*, 2017; Dieng *et al.*, 2019). Les adventices ont aussi un effet dépressif sur la production de l'anacardier. Selon Kalaivanane et Saroj (2017), l'impact des adventices sur l'anacardier est plus dommageable au stade plantule, où les mauvaises herbes et la culture partagent le même horizon du sol et donc les mêmes ressources. Il a été rapporté que l'échec de la plupart des programmes de

<sup>1</sup> Département de Biologie Végétale, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal

<sup>2</sup> Centre de Recherches Agronomiques de Saint-Louis, Sénégal

<sup>3</sup> Centre pour le Développement de l'Horticulture de Cambéréne, Dakar, Sénégal

<sup>4</sup> Agence Canadienne d'Inspection des Aliments, Ottawa, Ontario, Canada

noix de cajou en Afrique de l'Ouest était dû à la concurrence des graminées (Ohler, 1988). Selon le niveau d'infestation, la concurrence des adventices peut occasionner entre 60 et 70% de perte de production (Kalaivanane et Saroj, 2017). Outre la compétition directe, la croissance des adventices entrave la cueillette de noix dans des situations où les noix sont ramassées sur des pommes tombées. Ainsi, des dépenses considérables sont nécessaires pour maintenir les plantations exemptes d'adventices (Kalaivanane et Saroj, 2017).

Au Sénégal, l'impact des adventices sur la productivité de l'anacarde est encore méconnu car les études sur la composition de la flore adventice et de sa dynamique sont rares, voire inexistantes. C'est pour combler ce gap que la présente étude s'était fixée comme objectifs de caractériser la flore adventice des vergers de l'anacardier et de ressortir le pool des espèces les plus problématiques à travers la détermination de la valeur écologique des espèces.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Site d'étude

La zone d'étude est située dans le sud du Sénégal en Haute et Moyenne Casamance correspondant respectivement aux régions administratives de Kolda (12°53'00" N, 14°57'00" O) et Sédhiou (12°42'29" N, 15°33'25" O) (Figure 1). Cette partie du pays est caractérisée par un climat de type soudano-guinéen avec alternance d'une saison pluvieuse d'au moins quatre mois et d'une saison sèche de sept à huit mois. La pluviométrie moyenne annuelle varie de 800 à 1000 millimètres en Haute Casamance et de 900 à plus de 1000 mm en Moyenne Casamance.

### Méthode

L'enherbement dans les vergers d'anacardier a été étudié à partir de relevés. La superficie d'une station de relevés était en moyenne de 1 hectare. Dans chaque parcelle, les relevés ont été effectués suivant le motif en M. Il s'agit d'arpenter de 25 pas le bord du champ et de tourner à l'angle droit vers l'intérieur du champ et marcher 25 pas. L'échantillonnage commence à ce stade et va suivre un motif en diagonale. Les relevés ont été effectués dans cinq placettes de 50 cm × 50 cm (soit 0,25 m<sup>2</sup>) placées près des angles et du centre de chaque parcelle suivant les diagonales.

### Collecte et traitement des données

**La Richesse spécifique:** la richesse spécifique est le nombre total d'espèces présentes sur un site donné à un moment donné.

**Fréquence (Fr):** la fréquence représente le nombre de champs dans lesquels l'espèce apparaît sur le nombre total de champs échantillonnés. Elle donne une indication sur la distribution spatiale d'une espèce donnée.  $F_k = \frac{\sum Y_i}{n} * 100$  où  $F_k$  = fréquence de l'espèce k;  $Y_i$  = présence (1) ou absence (0) de l'espèce k dans le champ i; n = nombre de champs échantillonnés.

**Densité relative (Dr):** permet d'évaluer la densité de chaque espèce en rapportant son nombre d'individu sur le nombre total des individus de l'échantillon considéré.  $Dr = \frac{\sum Z_j}{n} * 4$  où  $Z_j$  = nombre d'individus de l'espèce j considéré; n = nombre total d'individus recensés.

**Abondance relative (Ar):** elle évalue le nombre d'individus d'une espèce donnée par unité de surface par rapport au nombre total d'individus de toutes les espèces dénombrées.

$Ar = \frac{Abondance_i}{\sum Abondance} * 4$  avec  $Abondance_i = \frac{Z_j}{F_a}$   $Z_j$  = nombre d'individus de l'espèce j considérée;  $F_a$  = fréquence absolue de l'espèce j.

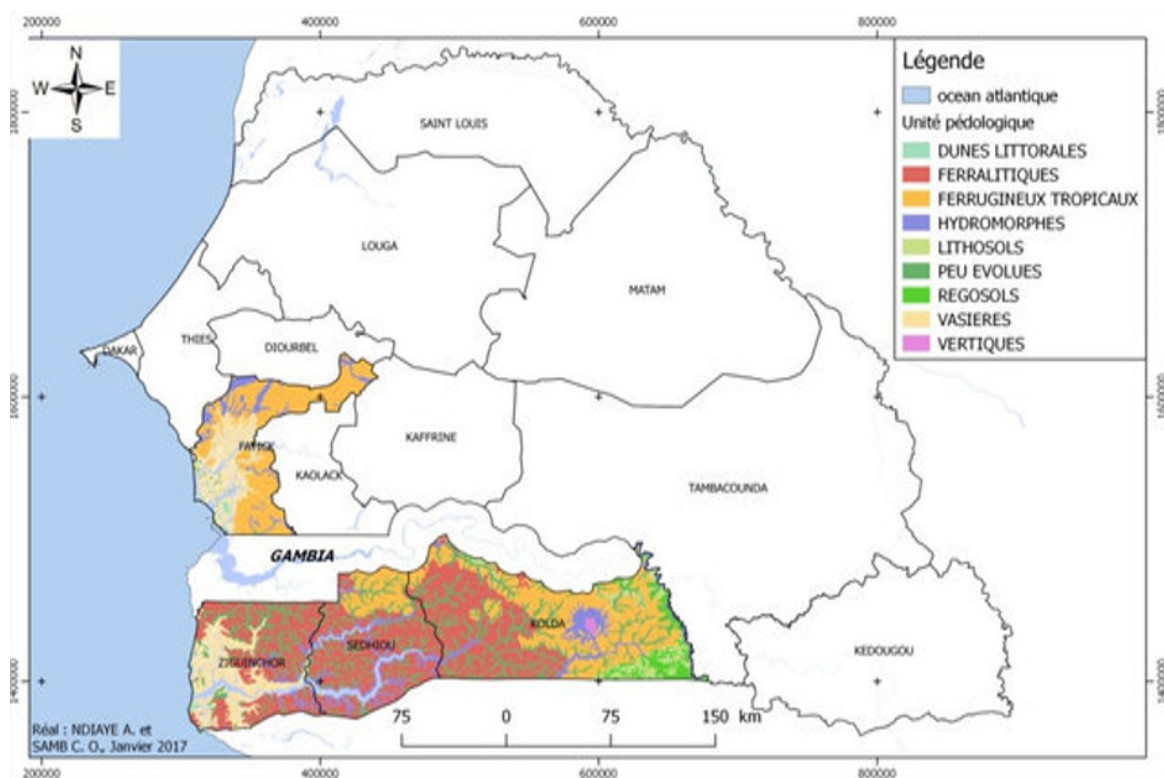


Figure 1: Carte pédologique des zones de production de l'anacardier au Sénégal (Samb et al., 2018)

**Indice de Valeur d'Importance des espèces (IVI):** Mis au point par Curtis et Macintosh (1950), l'indice est la somme de la fréquence relative, la densité relative et la dominance relative. Il est une expression synthétique et quantifiée de l'importance d'une espèce dans un peuplement. Pour une interprétation plus facile de l'IVI, Lindsey (1956) cité par Labat (1995) l'a exprimé en pourcentage (%) en le définissant comme la moyenne arithmétique, pour l'espèce  $i$ , de la densité relative ( $Dr$ ), la fréquence relative ( $Fr$ ) et la dominance relative ( $Domr$ ).

$$IVI = Dr + Fr + Ar$$

**Indice de Shannon ( $H'$ ):** Exprimé en bit, son évaluation se fait à partir du nombre d'espèces contenu dans un peuplement et des individus de chaque espèce de ce peuplement (Booth *et al.*, 2003).  $H' = -\sum (p_i \ln p_i)$  où  $p_i$  = nombre d'individus de l'espèce  $i$ .

**Indice d'équitabilité de Pielou ( $J$ ):** Elle varie entre 0 et 1. 1 indiquant une égale répartition des individus au sein des espèces alors que 0 désigne un peuplement dominé par une seule espèce.  $E = H'/H_{max}$

Un biplot, qui est un outil graphique pour visualiser des données arrangées en forme de matrice, a été effectuée à partir des matrices espèces  $\times$  zones bioclimatiques afin de ressortir les différents groupes de systèmes évidents. Ces statistiques ont été réalisées avec le logiciel R Edition R x64 3.4.2 (Library dplyr, FactoMineR, ggplot2, multcompView et leurs extensions).

## RÉSULTATS

### Structure taxonomique des adventices des vergers de l'anacardier

Un total de 66 espèces, réparties en 47 genres et appartenant à 15 familles ont été répertoriées comme adventices dans les huit sites prospectés (Tableau 1). Les dicotylédones sont largement majoritaires avec 71% des espèces, 68% des genres et 67% des familles alors que les monocotylédones renferment 29% des espèces, 32% des genres et 33% des familles. Les familles des Fabaceae (21 espèces – 32%) et des Poaceae (14 espèces – 21%) sont les mieux représentées et cumulent plus de la moitié des adventices recensées dans les plantations. Elles sont suivies de loin par les familles des Malvaceae, des Convolvulaceae et des Rubiaceae qui renferment respectivement 11; 9 et 8% des espèces de la flore. Il ressort de cette étude que 80% de la flore est concentrés dans les cinq familles susmentionnées. Le plus grand nombre d'espèces fût noté en Moyenne Casamance où 40 espèces et 31 genres ont été enregistrées contre 37 espèces et 29 genres en Haute Casamance. Cependant, le nombre de familles est plus élevé à Kolda où 13 familles ont été recensées contre 10 familles à Sédhiou. D'ailleurs, à elle seule, la famille des Fabaceae concentre plus de 35% des espèces rencontrées dans les vergers de Sédhiou. En outre et indépendamment de la zone d'étude, il ressort une tendance 3/4 de dicotylédones contre 1/4 de monocotylédones pour les espèces, les genres et les familles.

### Nuisibilité potentielle des espèces

L'évaluation quantitative des espèces à travers leur valeur écologique a ressorti que *Spermacoce stachydea*, *Mesosphaerum suaveolens*, *Andropogon pseudapricus*, *Mitracarpus hirtus* sont les espèces les plus infestantes dans

les vergers d'anacarde. Cependant, en fonction des zones d'études, *Spermacoce stachydea*, *Mitracarpus hirtus*, *Digitaria exilis*, *Mesosphaerum suaveolens*, *Hibiscus cannabinus* et *Andropogon pseudapricus* constituent le pool des adventices majeures dans les vergers en Moyenne Casamance alors que *Mesosphaerum suaveolens*, *Andropogon pseudapricus* et *Spermacoce stachydea* sont les espèces les plus abondamment rencontrées dans les vergers de la Haute Casamance. A cotée de ces espèces, il existe un groupe d'espèces secondaires dont l'infestation varie selon les localités. Pour ces espèces, le recouvrement oscille entre 10 et 15% des plantations d'anacardier. On retrouve dans ce groupe *Cenchrus polystachios*, *Spermacoce radiata*, *Hibiscus cannabinus* et *Schizachyrium exile* pour la zone de Kolda alors que *Eragrostis tremula*, *Alysicarpus ovalifolius*, *Dactyloctenium aegyptium* et *Digitaria horizontalis* forment un groupe à recouvrement intermédiaire dans les vergers de la Moyenne Casamance. Les recouvrements moyens des 53 espèces restantes demeurent faibles, en dessous de 10% des superficies parcellaires.

### Diversité des vergers en fonctions des zones bioclimatiques

L'analyse de la variance à un facteur suivi du test de Tukey au seuil de 5% indique que les indices de diversité de Shannon et d'équitabilité de Pielou ( $J$ ) ne varient pas significativement en fonction de la zone bioclimatique. En effet, l'indice de Shannon-Weaver ( $H'$ ) est en moyenne de 1,23 bit. Cependant, cet indice est plus élevé à Sédhiou avec 1,34 bit alors qu'à Kolda la diversité est en moyenne de 1,11 bit (Figure 2). En ce qui concerne l'indice régularité de Pielou ( $J$ ), il est en moyenne de 0,7 bit indépendamment de la zone et est légèrement plus élevé en Haute Casamance comparée à la Moyenne Casamance (Figure 3). Cet indice de régularité supérieur à 0,5 et qui tend vers un caractère un peuplement qui est équilibré, où une seule espèce ne domine pas largement tout un peuplement mais on a une codominance entre plusieurs espèces et une répartition plus ou moins équilibrée des individus au sein des espèces.

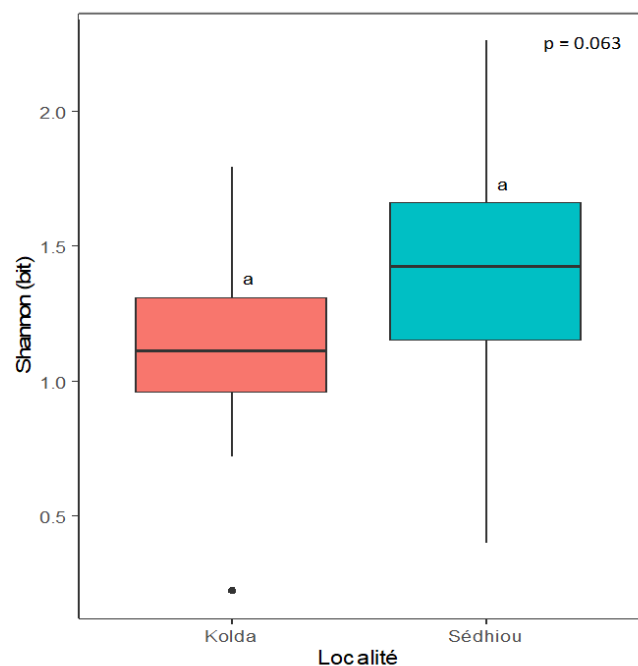


Figure 2: Indice de Shannon

Tableau 1: Espèces d'adventices répertoriées dans les vergers d'anacardier des 8 sites étudiés

ESPECE	FAMILLE	ZONE		FR	IVI
		KOLDA	SEDHIOU		
<i>Spermacoce stachydea</i> DC.	RUBIACEAE <sup>D</sup>	58,5	138,1	62,5	100,5
<i>Mesosphaerum suaveolens</i> (L.) K.	LAMIACEAE <sup>D</sup>	124,8	60,8	57,5	84,4
<i>Andropogon pseudapricus</i> St.	POACEAE <sup>M</sup>	96,4	53,7	47,5	68,8
<i>Mitracarpus hirtus</i> (L.) DC.	RUBIACEAE <sup>D</sup>	6,4	82,3	35,0	46,5
<i>Digitaria exilis</i> (K.) St.	POACEAE <sup>M</sup>	-	81,9	32,5	43,9
<i>Hibiscus cannabinus</i> L.	MALVACEAE <sup>D</sup>	29,9	53,2	35,0	41,0
<i>Spermacoce radiata</i> (DC.) H.	RUBIACEAE <sup>D</sup>	32,5	25,5	20,0	26,5
<i>Dactyloctenium aegyptium</i> Bauv.	POACEAE <sup>M</sup>	-	39,0	12,5	22,3
<i>Eragrostis tremula</i> (L.) H. ex St.	POACEAE <sup>M</sup>	-	39,2	17,5	20,4
<i>Cenchrus polystachios</i> (L.) Mor.	POACEAE <sup>M</sup>	41,0	-	17,5	20,2
<i>Alysicarpus ovalifolius</i> (Sch.) J. L.	FABACEAE <sup>D</sup>	-	31,9	15,0	16,3
<i>Schizachyrium exile</i> (H.) Pilg.	POACEAE <sup>M</sup>	29,4	-	7,5	14,6
<i>Digitaria horizontalis</i> Willd.	POACEAE <sup>M</sup>	-	28,0	12,5	14,6
<i>Kohautia tenuis</i> (B.) Mab.	RUBIACEAE <sup>D</sup>	11,6	17,5	12,5	14,2
<i>Ipomoea kourankoensis</i> Chev.	CONVOLVULACEAE <sup>D</sup>	6,4	21,4	12,5	13,5
<i>Hackelochloa granularis</i> (L.) K.	POACEAE <sup>M</sup>	-	22,7	10,0	11,9
<i>Ipomoea heterotricha</i> Didr.	CONVOLVULACEAE <sup>D</sup>	22,5	-	10,0	11,2
<i>Sylochaeton hypogaeus</i> Lepr.	ARACEAE <sup>M</sup>	-	21,4	10,0	11,0
<i>Chamaecrista absus</i> (L.) Ir. & Bar.	FABACEAE <sup>D</sup>	16,8	-	7,5	8,4
<i>Chamaecrista nigricans</i> (V.) Gr.	FABACEAE <sup>D</sup>	6,4	-	7,5	8,4
<i>Tephrosia platycarpa</i> Gl. & P.	FABACEAE <sup>D</sup>	6,4	11,1	7,5	8,4
<i>Cyperus rotundus</i> L.	CYPERACEAE <sup>M</sup>	13,2	-	5,0	6,6
<i>Corchorus tridens</i> L.	MALVACEAE <sup>D</sup>	-	11,7	5,0	6,2
<i>Eragrostis ciliaris</i> (L.) R. Br.	POACEAE <sup>M</sup>	-	11,7	5,0	6,2
<i>Gomphrena celosioides</i> Mart.	AMARANTHACEAE <sup>D</sup>	12,4	-	5,0	6,2
<i>Indigofera nigrifolia</i> Hook. f.	FABACEAE <sup>D</sup>	12,4	-	5,0	6,2
<i>Jacquemontia tamnifolia</i> (L.) Gr.	CONVOLVULACEAE <sup>D</sup>	12,4	-	5,0	6,2
<i>Panicum laetum</i> Kunth	POACEAE <sup>M</sup>	12,4	-	5,0	6,2
<i>Cenchrus pedicellatus</i> (T.) Mor.	POACEAE <sup>M</sup>	12,4	-	5,0	6,2
<i>Triumfetta pentandra</i> Rich.	MALVACEAE <sup>D</sup>	7,8	6,0	5,0	6,2
<i>Waltheria indica</i> L.	MALVACEAE <sup>D</sup>	11,6	11,7	5,0	6,2
<i>Ampelocissus multistriata</i> (B) Pl.	VITACEAE <sup>D</sup>	-	-	5,0	5,8
<i>Grona hirta</i> (G. & P.) O & KO	FABACEAE <sup>D</sup>	-	11,1	5,0	5,8
<i>Indigofera macrocalyx</i> G. & P.	FABACEAE <sup>D</sup>	-	11,1	5,0	5,8
<i>Indigofera oblongifolia</i> Fsk.	FABACEAE <sup>D</sup>	-	11,1	5,0	5,8
<i>Indigofera pulchra</i> Willd.	FABACEAE <sup>D</sup>	11,6	-	5,0	5,8
<i>Indigofera stenophylla</i> G. & P.	FABACEAE <sup>D</sup>	11,6	6,0	5,0	5,8
<i>Sida rhombifolia</i> L.	MALVACEAE <sup>D</sup>	-	11,1	5,0	5,8
<i>Tephrosia pedicellata</i> Baker	FABACEAE <sup>D</sup>	-	11,1	5,0	5,8
<i>Zornia glochidiata</i> R. ex DC.	FABACEAE <sup>D</sup>	-	11,1	5,0	5,8
<i>Ctenium elegans</i> Kunth	POACEAE <sup>M</sup>	9,1	-	2,5	4,7
<i>Urena lobata</i> L.	MALVACEAE <sup>D</sup>	7,8	-	2,5	4,7
<i>Panicum pansum</i> Rendle	POACEAE <sup>M</sup>	7,8	-	2,5	4,0
<i>Achyranthes aspera</i> L.	AMARANTHACEAE <sup>D</sup>	-	6,0	2,5	3,2
<i>Cyphostemma trachyphyllum</i> W. & D.	VITACEAE <sup>D</sup>	6,4	-	2,5	3,2
<i>Chamaecrista mimosoides</i> (L.) Gr.	FABACEAE <sup>D</sup>	-	6,0	2,5	3,2
<i>Crotalaria goreensis</i> G. & P.	FABACEAE <sup>D</sup>	-	6,0	2,5	3,2
<i>Crotalaria retusa</i> L.	FABACEAE <sup>D</sup>	-	6,0	2,5	3,2
<i>Croton hirtus</i> L'Hér.	EUPHORBIACEAE <sup>D</sup>	6,4	-	2,5	3,2
<i>Desmodium triflorum</i> (L.) DC.	FABACEAE <sup>D</sup>	-	6,0	2,5	3,2
<i>Dioscorea sagittifolia</i> (W.) Nk.	DIOSCOREACEAE <sup>M</sup>	6,4	-	2,5	3,2
<i>Hibiscus rhodanthus</i> Gürke	MALVACEAE <sup>D</sup>	6,4	-	2,5	3,2
<i>Indigofera leprieurii</i> Baker f.	FABACEAE <sup>D</sup>	6,4	-	2,5	3,2
<i>Xenostegia tridentata</i> (L.) A. & St.	CONVOLVULACEAE <sup>D</sup>	6,4	-	2,5	3,2
<i>Ipomoea vagans</i> Baker	CONVOLVULACEAE <sup>D</sup>	-	6,0	2,5	3,2
<i>Kyllinga squamulata</i> Th. ex V.	CYPERACEAE <sup>M</sup>	-	6,0	2,5	3,2
<i>Leersia hexandra</i> Sw.	POACEAE <sup>M</sup>	-	6,0	2,5	3,2
<i>Xenostegia pinnata</i> St.	CONVOLVULACEAE <sup>D</sup>	-	6,0	2,5	3,2
<i>Monechma ciliatum</i> (J.) M.-R.	ACANTHACEAE <sup>D</sup>	6,4	-	2,5	3,2
<i>Oldenlandia corymbosa</i> L.	RUBIACEAE <sup>D</sup>	-	6,0	2,5	3,2
<i>Scoparia dulcis</i> L.	SCROPHULARIACEAE <sup>D</sup>	-	6,0	2,5	3,2
<i>Sesbania rostrata</i> Br. & Ob.	FABACEAE <sup>D</sup>	-	6,0	2,5	3,2
<i>Stylosanthes erecta</i> P. Beauv.	FABACEAE <sup>D</sup>	6,4	-	2,5	3,2
<i>Tacca leontopetaloides</i> (L.) Kt.	TACCACEAE <sup>M</sup>	6,4	-	2,5	3,2
<i>Tephrosia bracteolata</i> G. & P.	FABACEAE <sup>D</sup>	-	6,0	2,5	3,2
<i>Vigna reticulata</i> H. F.	FABACEAE <sup>D</sup>	6,4	-	2,5	3,2

FR= fréquence relative; IVI= importance value index; M= monocotylédones; D= dicotylédones



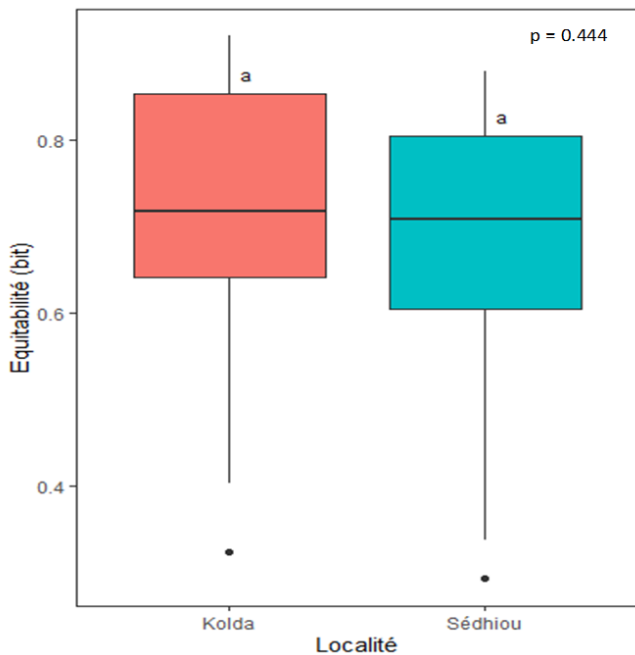


Figure 3: Indice de Pielou

### Effet de la zone bioclimatique sur la répartition des espèces

Sur l'axe 1 (Figure 4), deux groupes d'espèces se différencient en fonction de la zone d'étude. Un premier groupe d'espèces s'écarte sur le côté négatif de l'axe 1 et rassemble des espèces majoritairement présentes en Haute Casamance telles que *Mesosphaerum suaveolens* et *Andropogon pseudapricus*. Un deuxième groupe caractéristique des vergers de la Moyenne Casamance s'écarte du côté positif de l'axe 1 et est dominé par le *Spermacoce stachydea*, *Mitracarpus hirtus*, *Dactyloctenium aegyptium* et *Digitaria exilis*. Cependant, la majorité des individus sont concentrés au centre du biplot et est formé par des espèces à large spectre et leur dynamique semble indifférente à la zone bioclimatique.

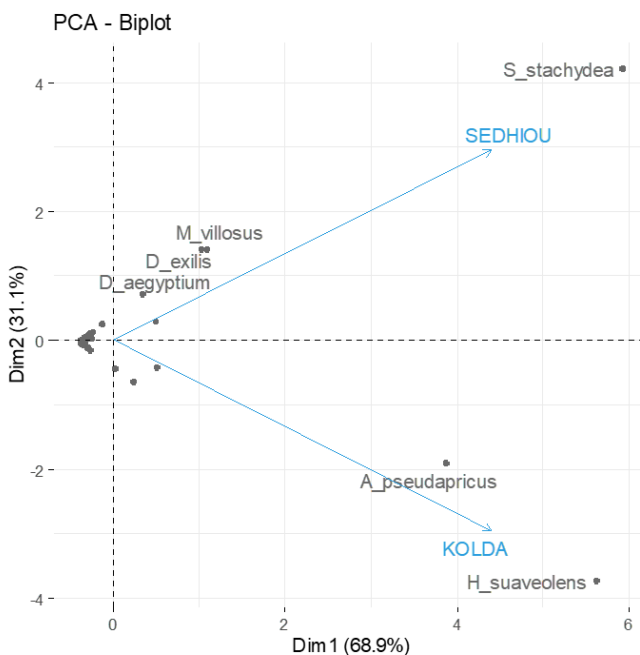


Figure 4: Biplot de la répartition des espèces adventices selon la zone bioclimatique

### DISCUSSION

L'évaluation de la flore adventice dans les vergers d'anacardier en Haute et Moyenne Casamance a permis de recenser 66 espèces, 47 genres et 15 familles avec une richesse spécifique et générique plus élevée en Moyenne Casamance. Cette flore renferme moins d'espèces que la flore des bananeraies dans la même zone (Ka et Mballo, 2022). D'ailleurs, l'évaluation de la similarité de ces deux flores a ressorti que seules 21 espèces leur sont communes avec un coefficient de similitude de 29%. Cette dissimilitude floristique dans ces deux systèmes partageant la même aire bioclimatique est certainement le reflet de l'influence des systèmes de culture sur l'évolution des communautés d'adventices des milieux soudaniens. En effet, dans cette partie du Sénégal, la banane est cultivée en intensif avec l'apport de beaucoup d'intrants chimiques comme les fertilisants et les herbicides alors que les vergers d'anacardier ne reçoivent quasiment pas d'intrants et les rares sarclages interviennent généralement durant les premières années d'implantation pour protéger les plantules de la compétition des adventices mais surtout des feux de brousse très récurrents dans les vergers à la fin de la saison des pluies. Ainsi, dans la flore des bananeraies, les fortes perturbations ont fini par modifier les structures de la flore et des espèces très adaptées à ce contexte notamment, par leur résistance aux herbicides (*Euphorbia heterophylla*, *Commelina benghalensis*, *Cyperus rotundus*, *Portulaca quadrifida*, *Cyperus iria*...), par leurs adaptations aux milieux fortement humides (*Echinochloa colona*, *Ludwigia* sp, *Melochia corchorifolia*,...) ou hautement nitrophiles (*Boerhavia diffusa*, *Eleusine indica*...) ont fini par supplanter la flore néophyte. A contrario, les vergers d'anacardier apparaissent comme un refuge des espèces qui se raréfient dans les agrosystèmes à cause de leurs sensibilités aux perturbations culturales. Dans cette flore, il s'agit entre-autre des espèces sciaphiles (*Hackelochloa granularis*, *Tacca leontopetaloides*), des espèces oligotrophes (*Triumfetta pentandra*), des espèces épiphytes (*Dioscorea sagittifolia*) et des espèces à cycle long (*Schizachyrium exile*, *Urena lobata*). Ces espèces recensées témoignent du rôle prépondérant de la culture et de ses itinéraires associés dans les variations de la flore au sein des écosystèmes agricoles. Ceci confirme les travaux antérieurs des auteurs comme Traoré et Maillet (1992), Loudyi *et al.* (1995), Le Bourgeois et Marnotte (2002) qui font observer que la culture est le premier facteur de sélection de la flore. Nonobstant cela, d'autres facteurs comme les paramètres physico-chimiques du sol, la pluviométrie et la topographie interviennent aussi dans les processus de sélection de la flore au sein des écosystèmes agricoles (Fried *et al.*, 2008).

L'évaluation de la valeur écologique des adventices des vergers d'anacardier a ressorti que *Spermacoce stachydea*, *Mesosphaerum suaveolens*, *Andropogon pseudapricus*, *Mitracarpus hirtus* sont les espèces les plus infestantes en Haute et en Moyenne Casamance. La même tendance fut observée dans les cultures annuelles du coton (Diouf *et al.*, 2020) et du sorgho (Ka *et al.*, 2020) dans la même zone excepté pour *Andropogon pseudapricus* qui a un statut d'adventice mineure en cultures annuelles. Son abondance est certainement le résultat de l'absence de perturbation profonde pour cette graminée à enracinement profond et à cycle long caractéristique des jachères où elle apparaît comme une espèce pionnière. En ce qui concerne *Mesos-*

*phaerum suaveolens*, elle est devenue l'une des espèces les plus envahissantes en zone Sud et Sud-Est du Sénégal. Elle est retrouvée principalement dans les pâturages, les jachères, les vergers peu entretenus et les milieux cultivés (Ka et al., 2019). Cette espèce invasive, originaire des zones tropicales de l'Amérique, doit son succès à l'adaptation aux conditions biophysiques du milieu, au système agraire de la zone et d'après certains auteurs (Sharma et al., 2009; David et al., 2020) à son effet allélopathique qui inhibe la levée et le développement des espèces à son voisinage. Les espèces caractéristiques des milieux cultivés comme *Spermacoce stachydea*, *Mitracarpus hirtus*, *Digitaria exilis* et *Dactyloctenium aegyptium* sont plus fréquemment et abondamment retrouvées en Moyenne Casamance alors que *Andropogon pseudapricus* et *Mesosphaerum suaveolens* sont les plus communes en Haute Casamance. Ceci s'expliquerait certainement par le nombre élevé de jeunes vergers prospectés en Moyenne Casamance comparé à la Haute Casamance. En effet, durant les deux-trois premières années, les jeunes plantations sont régulièrement entretenues avec des sarclages réguliers entraînant l'installation d'une flore caractéristique des agrosystèmes annuels.

## CONCLUSION

Ce travail avait pour objectifs de caractériser la flore adventice des vergers d'anacardier en Haute et Moyenne Casamance et d'apprécier la nuisibilité des espèces à travers l'évaluation de leur valeur écologique. L'inventaire a permis de recenser 66 espèces réparties dans 47 genres et appartenant à 15 familles. Cette flore est dominée par les Dicotylédones avec une tendance 3/4 de dicotylédones contre 1/4 de monocotylédones pour les espèces, les genres et les familles. Les familles des Fabaceae (32%), des Poaceae (21%) et des Malvaceae (11%) sont les mieux représentées et cumulent 64% des adventices recensées dans les plantations. L'évaluation quantitative des espèces a révélé que *Spermacoce stachydea*, *Mesosphaerum suaveolens*, *Andropogon pseudapricus*, *Mitracarpus hirtus* sont les espèces les plus infestantes dans les vergers d'anacarde cependant avec des variations selon les zones bioclimatiques. Il ressort de l'étude de la diversité que la richesse spécifique et la diversité (H') sont plus élevés en Moyenne Casamance alors que l'indice de régularité (J) est plus élevé en Haute Casamance.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'Agence Canadienne d'Inspection des Aliments (ACIA) qui a entièrement financé cette étude dans le cadre de la mise en œuvre du Projet "Appui technique au renforcement des capacités semencières du Ministère de l'Agriculture et de l'Équipement Rural du Sénégal" dont les deux premiers auteurs intervenaient à titre de consultants.

## RÉFÉRENCES

- Aïvodji J., Anassidé A. (2009). Élaboration des règles de stabilisation et de soutien des prix pour la filière anacarde. Rapport projet PASREA, Bénin, 86 p.
- David O.A., Akomolafé G.F., Onwusiri K.C., Fabolude G.O. (2020). Predicting the distribution of the invasive species *Hypertis suaveolens* in Nigeria. *European Journal of Environmental Sciences*, 10: 98-106.
- Dieng F., Ngom D., Dia D., Sy R. (2019). Efficience technique de la production d'anacarde (*Anacardium occidentale* L.) dans les grandes régions de production du Sénégal. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 13: 2627-2645.
- Diouf N., Mbaye M.S., Guèye M., Dieng B., Bassène C., Noba K. (2019). La flore adventice des cultures cotonnières dans le Sénégal Oriental et en Haute Casamance. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 13: 1720-1736.
- Fried G., Chauvel B., Reboud X. (2008). Évolution de la flore adventice des champs cultivés au cours des dernières décennies: vers la sélection de groupes d'espèces répondant aux systèmes de culture. *Innovations Agronomiques*, 3: 15-26.
- Kâ S.L., Sarr M., Guèye M., Mbaye M.S., Noba K. (2020). Degré d'infestation et nuisibilité potentielle des mauvaises herbes du sorgho (*Sorghum bicolor*) en Haute Casamance, Sénégal. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*, 8: 301-306.
- Kâ S.L., Ly M.O., Diouf M., Diandy M., Guèye M., Mbaye M.S., Noba K. (2020). Diversité herbacée dans les parcours du noyau de sélection du Centre de recherches zootechniques de Kolda en zone soudanienne du Sénégal. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 73: 199-205.
- Ka S.L., Mballo R. (2022). Document de synthèse de l'Enquête Nationale sur les Plantes Adventices du Sénégal: Cas de la banane. Assistance technique canadienne au Ministère de l'Agriculture et de l'Équipement Rural du Sénégal.
- Kalaivanane D., Saroj P.L. (2017). Weed Management in Cashew in Cashew: Improvement, Production and Processing. Astral International PVT, New Delhi (India), pp 265-276.
- Le Bourgeois T., Marnotte P. (2002). Modifier les itinéraires techniques: la lutte contre les mauvaises herbes. In: Mémento de l'agronome. Montpellier, France, CIRAD. Pp. 663-684.
- Loudyi M.C., Godron M., Khyari D.E. (1995). Influence des variables écologiques sur la distribution des mauvaises herbes des cultures du Sais (Maroc central). *Weed Research*, 35: 225-240.
- N'depo O.R., Cherif M., Johnson F., Kassi K.F., N'guessan A.C., Silue N., Akesse E.N., Kone D., N'goran O.M. (2017). Inventaire des insectes ravageurs du verger anacardier dans les régions de Bounkani, Gontougo et Indénie-Djuablin au Nord-Est en Côte d'Ivoire. *Afrique Science*, 13: 333 - 343.
- Ohler J.G. (1988). Cashew, Koninklijk Instituut voor de Tropen, Amsterdam (Netherlands), ISBN 90-6832-074-2, 260p.
- OIT (2020). Commerce et chaînes de valeur dans les activités porteuses d'emplois (Travera): Cas de l'anacarde au Bénin. Strengthen Publication Series, n°16.
- Piperno D.R. (2011). The Origins of plant cultivation and domestication in the New World Tropics patterns, process, and new developments. *Current Anthropology*, 52: 453 - 470.
- Programme d'Appui au Développement Économique de la Casamance (2016). La mangue en zone sud au Sénégal: Production et commercialisation. Rapport d'activité, 63 p.
- Programme d'Appui au Développement Économique de la Casamance, International Relief and Development (2014). Rapport des enquêtes socio-économiques sur la filière anacarde au Sénégal, 210 p.
- Samb C., Touré M., Faye E., Ba H., Diallo A., Badiane S., Sanogo D. (2018). Caractéristiques socio-démographique, structurale et agronomique des plantations d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) du Bassin arachidier et de la Casamance (Sénégal). *Journal of Animal and Plant Sciences*, 38: 6307-6325.
- Sarr M.B. (2002). Analyse du secteur de l'anacarde au Sénégal, situation actuelle et perspective de développement. Projet de rapport de synthèse, 44 p.
- Sharma G.P., Raizada P., Raghubanshi A.S. (2009). *Hypertis suaveolens*: an emerging invader of Vindhyan plateau. *India Weed Biol. Manag.*, 9:185-91.
- Silué N., Soro S., Koné T., Abo K., Koné M., D. Koné. (2017). Parasitical Fungi in Cashew (*Anacardium occidentale* L.) Orchard of Cote d'Ivoire. *Plant Pathology Journal*, 16: 82-88.
- Traoré H., Maillet J. (1992). Flore adventice des cultures céréalières annuelles du Burkina Faso. *Weed Research*, 3: 279-293.

# Flore adventices des bananeraies du Sud-Est Sénégal: Caractérisation de la flore et niveau d'infestation des espèces

S. L. KA<sup>1</sup>, R. MBALLO<sup>2</sup>, M. R. N. ONDOUA<sup>3</sup>, G. KANFANY<sup>4</sup>, A. A. CAMARA<sup>1</sup>, K. NOBA<sup>1</sup>

(Reçu le 24/10/2022; Accepté le 10/11/2022)

## Résumé

Au Sénégal, la banane est essentiellement produite dans les zones Sud-Est. Cependant, cette production de banane ne couvre que la moitié des besoins de consommations du pays qui continue à dépendre des importations à cause entre autres de l'absence de maîtrise des facteurs de production. Cette étude a été réalisée dans le but de caractériser la structure de la flore adventice de la banane en Haute Casamance et au Sénégal oriental. Des relevés ont été effectués dans des parcelles suivant la méthode des diagonales dans des quadrats de 50 cm de côté. Les résultats montrent que la flore adventice dans les bananeraies est composée de 76 espèces appartenant à 56 genres et 18 familles. Cette flore est constituée à 86% d'espèces annuelles contre 14% d'espèces à caractères pérennes. Les familles des Poaceae, des Fabaceae et des Malvaceae sont les mieux représentées et cumulent près de la moitié des espèces recensées. L'évaluation de la valeur écologique des espèces (IVI index) a ressorti que *Commelina benghalensis*, *Cyperus rotundus*, *Euphorbia heterophylla* sont les espèces les plus infestantes dans les plantations de bananeraies. En plus de leur nuisibilité directe, ces trois espèces, en compagnie du *Croton hirtus* sont reconnues comme étant des hôtes alternatifs de nombreux pathogènes notamment le virus de la mosaïque du concombre (CMV), le virus du PVMY et le virus du PVMV. Cependant, la majorité des espèces ont une fréquence et un recouvrement faibles même si certaines d'entre-elles comme *Croton hirtus* sont à surveiller afin de limiter leur expansion. En effet, elles sont envahissantes dans certaines zones et/ou culture et résistent à la plupart des herbicides de post-levée actuellement vulgarisés. Cette étude préliminaire des adventices de la banane au Sénégal est utile et nécessaire pour planifier des approches de lutte intégrée des adventices en tenant compte du travail du sol, de l'utilisation des herbicides, de la fertilisation et des variétés.

**Mots-clés:** Bananeraie, Adventices, Recouvrement, IVI index, Sud-Est Sénégal

## Weed flora of banana in south eastern Senegal: characterization of the flora and the level of infestation

### Abstract

In Senegal, bananas are mainly produced in the Southeastern areas. The production is low compared to the needs of the population because of several factors. This study aims to contribute to the knowledge of the floristic composition and diversity of weeds of banana in southern part of Senegal. In the assessed orchards, 76 weed species belong to 56 genera and 18 families were identified. Dicotyledons were the most important form representing 68 % of weed species. Fabaceae, Poaceae and Malvaceae were the most represented botanical families with more than half of the identified species. Spectrum analysis indicated that the flora is largely dominated by annual species, which represent 86% of the flora. The evaluation of the ecological value of species (IVI index) showed that *Commelina benghalensis*, *Cyperus rotundus*, *Euphorbia heterophylla* are the most noxious species in banana plantations. In addition to their direct harmfulness, these three species, along with *Croton hirtus*, are known as alternative hosts for many pathogens, particularly cucumber mosaic virus (CMV), PVMY and PVMV viruses. However, the majority of species have a low frequency and coverage even if some of them, such as *Croton hirtus*, should be monitored in order to limit their expansion. In fact, they are invasive in some areas and/or crops and are resistant to most herbicides. Knowing these target species is essential before any integrated weed management strategies for increasing banana yield under sudanian conditions of South Eastern Senegal.

**Keywords:** Banana plantation, Weeds, Noxious, IVI index, South-Eastern Senegal

## INTRODUCTION

La banane est cultivée dans plus de 130 États et territoire du monde, principalement pour son fruit et dans une moindre mesure pour fabriquer des fibres, du vin et de la bière ou comme plante ornementale (Atlasocio, 2022). La production mondiale de la banane est estimée à 131,7 millions de tonnes en 2021 avec en tête des pays producteurs la Chine, l'Inde, l'Indonésie, le Brésil et l'Équateur (FAO, 2022). En moyenne, 90% des exportations de banane proviennent de l'Amérique Centrale, de l'Amérique du Sud et des Philippines alors que les productions chinoises et indiennes sont exclusivement destinées à la consommation domestique (FAO, 2022).

Avec une production annuelle de plus de 4 millions de tonnes, l'Angola est le premier pays africain producteur de banane et le 8<sup>e</sup> mondial. Le Sénégal est classé au 73<sup>e</sup> rang mondial avec une production annuelle de 36 500 tonnes (ANSD, 2022; FAO, 2022). Cette production est essentiel-

lement localisée en zone Sud (régions de Kolda et Sédhiou) et Sud-Est (Tambacounda), même si des îlots de production se retrouvent le long de la vallée du fleuve Sénégal. Dans cette partie du pays, on note une prédominance des sols ferrugineux tropicaux et des lithosols sur les plateaux et versants, et des sols hydromorphes dans les zones alluviales des fleuves Casamance et Gambie (CSE, 2009). Leur texture argilo-limoneuse riche en matière organique et en sels minéraux les rend favorables à la culture du bananier dont le système racinaire est peu pénétrant (Badji, 2013).

Au Sud-Est du Sénégal, le bananier est cultivé sur plus de 1 000 ha et cette superficie fournit les 4/5 de la production nationale qui est passée de 5 000 tonnes de bananes en 1986, à 16 000 en 2003 mais stagne autour de 35 000 depuis près d'une décennies (Badji, 2013; ANSD, 2022; FAO, 2022). Il est conduit en culture irriguée et est uniquement destinée au marché national dont il est loin de couvrir les besoins annuels estimés à près de 100 000 tonnes (ANSD, 2022).

<sup>1</sup> Département de Biologie Végétale, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal

<sup>2</sup> Centre de Recherches Agronomiques de Saint-Louis, Sénégal

<sup>3</sup> Agence Canadienne d'Inspection des Aliments, Ottawa, Ontario, Canada

<sup>4</sup> Université Gaston Berger de Saint-louis, Sénégal

En effet, plusieurs facteurs concourent à la faiblesse de cette production, dont entre autres les aléas climatiques (vent, température, etc.), les facteurs biotiques (insectes et maladies) et la croissance médiocre des rejets (Keita *et al.*, 2018). Cependant, les adventices pourraient être aussi un frein à l'amélioration de la productivité des bananeraies. En effet, le système racinaire du bananier étant superficiel, cette culture est particulièrement sensible à la concurrence des adventices pour l'alimentation hydrique et minérale qui se traduit par un retard dans le cycle végétatif des bananiers et une baisse du poids moyen des régimes (Lassoudière et Pinon, 1972). Selon Champion (1979) cité par Achard (2016), c'est sur jeune plantation que la croissance des adventices est le plus dommageable car elles exercent une forte compétition, qui induit des retards de développement.

Au Sénégal, l'impact des adventices sur la productivité du bananier est encore méconnu car les études sur la composition de la flore adventice et de son évolution, préalables à l'amélioration des techniques de lutte sont inexistantes. C'est ainsi que la présente étude se fixe comme objectifs de caractériser la flore adventice des bananeraies du Sud-Est du Sénégal et de ressortir le pool des espèces les plus problématiques à travers la détermination de la valeur écologique des espèces.

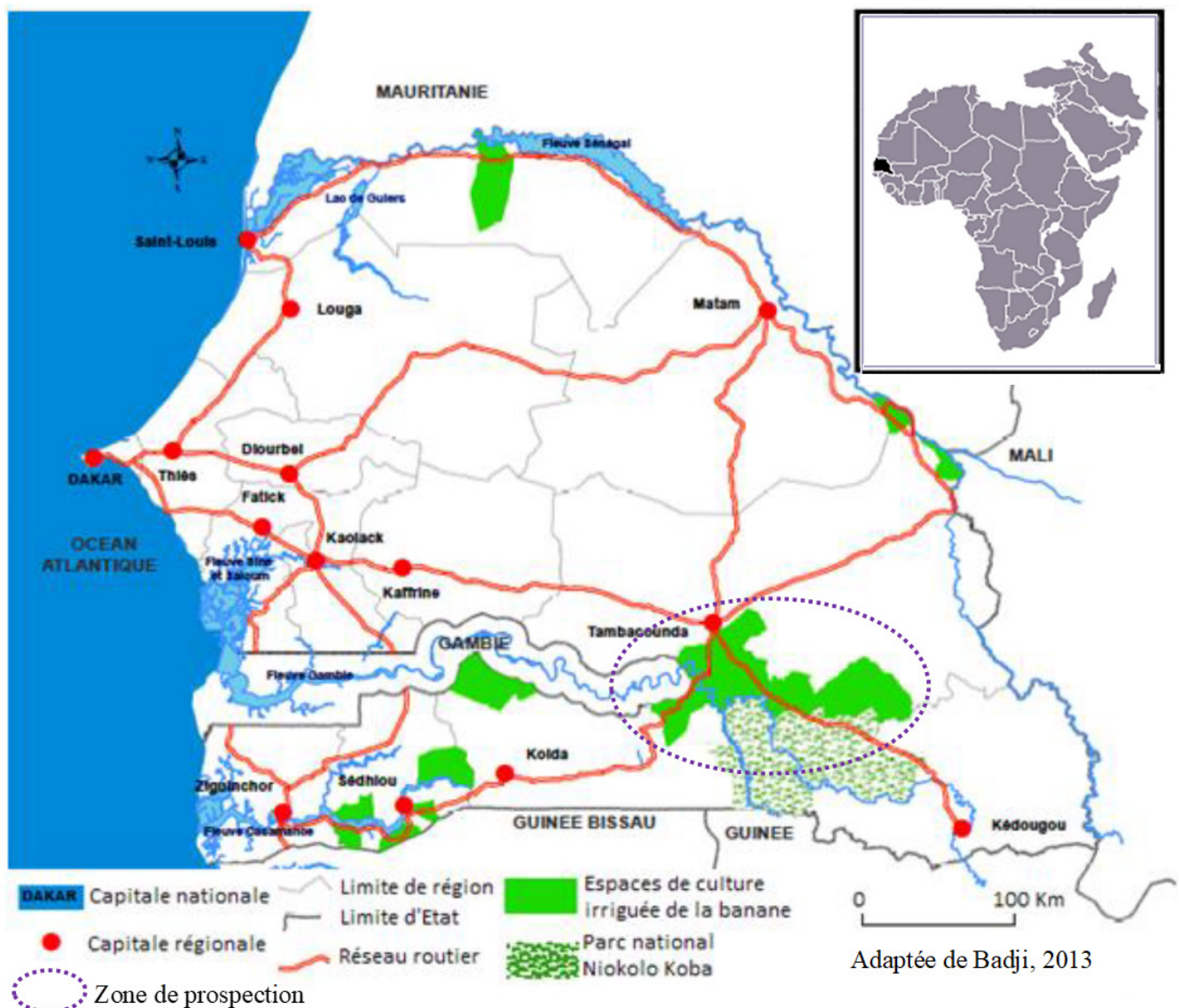
## MATÉRIEL ET MÉTHODE

### Site d'étude

La zone d'étude est située dans le sud-est du pays le long du fleuve Gambie à la frontière entre la partie supérieure de la Casamance naturelle et le sud de la région de Tambacounda. Cette zone agroécologique est caractérisée par un climat de type soudanien avec alternance d'une saison pluvieuse de quatre mois et d'une saison sèche de huit mois. La pluviométrie moyenne annuelle est de 800 millimètres avec une forte variabilité au cours des années. Durant l'hivernage, les besoins en eau de la banane estimées entre 9,5 et 25 l/j sont assurés par les pluies (Champion, 1960). Cependant, les bananeraies sont munies de système d'irrigation pour couvrir la longue saison sèche (fin octobre-juin) à partir des fleuves (Gambie, Tiangol, etc.) et des aquifères.

### Méthode

L'enherbement dans les bananeraies du sud-est a été étudiée à partir de relevés. La superficie d'une station de relevés était en moyenne de 1 hectare. Dans chaque parcelle, les relevés ont été effectués suivant le motif en M. Il s'agit d'arpenter de 25 pas le bord du champ et de tourner à l'angle droit vers l'intérieur du champ et marchez 25 pas. L'échan-



tillonnage commence à ce stade et va suivre un motif en diagonale. Les relevés sont été effectués dans cinq placettes de 50 cm × 50 cm (soit 0,25 m<sup>2</sup>) placées près des angles et du centre de chaque parcelle suivant les diagonales.

### Collecte et analyse des données

**La Richesse spécifique:** la richesse spécifique est le nombre total d'espèces présentes sur un site donné à un moment donné.

**Fréquence (Fr):** la fréquence représente le nombre de champ dans lesquels l'espèce apparaît sur le nombre total de champs échantillonnés. Elle donne une indication sur la distribution spatiale d'une espèce donnée.  $F_k = \frac{\sum Y_i}{n} * 100$  où  $F_k$  = fréquence de l'espèce k;  $Y_i$  = présence (1) ou absence (0) de l'espèce k dans le champ i; n = nombre de champs échantillonnés.

**Densité relative (Dr):** permet d'évaluer la densité de chaque espèce en rapportant son nombre d'individu sur le nombre total des individus de l'échantillon considéré.  $Dr = \frac{\sum Z_j}{n} * 4$  où  $Z_j$  = nombre d'individus de l'espèce j considéré; n = nombre total d'individus recensés.

**Abondance relative (Ar):** elle évalue le nombre d'individus d'une espèce donnée par unité de surface par rapport au nombre total d'individus de toutes les espèces dénombrées.  $Ar = \frac{Abondance_i}{\sum Abondance} * 4$  avec  $Abondance_i = \frac{Z_i}{F_i}$   $Z_j$  = nombre d'individus de l'espèce j considérée;  $F_a$  = fréquence absolue de l'espèce j.

**Indice de Valeur d'Importance des espèces (IVI):** Mis au point par Curtis et Macintosh (1950), l'indice est la somme de la fréquence relative, la densité relative et la dominance relative. Il est une expression synthétique et quantifiée de l'importance d'une espèce dans un peuplement. Pour une interprétation plus facile de l'IVI, Lindsey (1956) cité par Labat (1995) l'a exprimé en pourcentage (%) en le définissant comme la moyenne arithmétique, pour l'espèce i, de la densité relative (Dr), la fréquence relative (Fr) et la dominance relative (Domr).

$$IVI = Dr + Fr + Ar$$

## RÉSULTATS

### Structure taxonomique des adventices de bananeraies

L'inventaire a permis de répertorier 76 espèces appartenant à 56 genres et 18 familles (Tableau 1). Les dicotylédones sont largement majoritaires avec 52 espèces appartenant 38 genres et 15 familles alors que les monocotylédones renferment 24 espèces appartenant 18 genres et 3 familles. Les familles des Poaceae (15 espèces), des Fabaceae (12 espèces) et des Malvaceae (9 espèces) sont les mieux représentées et cumulent près de la moitié des adventices recensées dans les bananeraies. Elles sont suivies par les Cyperaceae (5 espèces), les Euphorbiaceae (5 espèces) et les Commelinaceae (4 espèces). Les 12 familles restantes contribuent pour 34% de la flore (26 espèces) et renferment entre 1 et 3 espèces.

### Spectre biologique des espèces recensées

L'analyse du spectre biologique a permis de noter que la flore adventice des bananeraies du Sénégal oriental et de la Haute Casamance est largement dominée par les plantes annuelles qui englobent 86% des espèces recensées. Ce sont des plantes qui se reproduisent uniquement par graines avec un cycle de vie relativement court. Cependant, 11 des 76 adventices de la banane sont des plantes pérennes.

### Fréquence des espèces

Le dénombrement des adventices en fonction de leur fréquence indique que *Commelina benghalensis* et *Cyperus rotundus* sont les espèces les plus communes dans les bananeraies et sont retrouvées sur plus de deux tiers des quadrats et la totalité des parcelles prospectées. Elles sont suivies par six autres espèces avec des fréquences variant entre 20 et 50%. Il s'agit de *E. heterophylla* (48%), *P. scrobiculatum* (33%), *P. amarus* (30%), *O. corymbosa* (23%), *E. hirta* (23%) et *C. hirtus* (20%). Cependant, la majorité des espèces ont une fréquence inférieure à 20% et constituent le noyau floristique de base.

### Nuisibilité des espèces de bananeraies

L'importance des espèces a été évaluée grâce à l'Indice de Valeur d'Importance (IVI) qui tient compte de la fréquence, de la densité et la de l'abondance de l'espèce et traduit son recouvrement et donc sa nuisibilité potentielle. L'étude quantitative a révélé que *C. rotundus* (IVI=144,6), *C. benghalensis* (IVI=107,6) et *E. heterophylla* (IVI=70,7) sont les adventices les plus infestantes dans les bananeraies de la zone sud-est du Sénégal. Elles sont suivies par neuf autres espèces dont le recouvrement varie entre 5 et 12%. Il s'agit par ordre décroissant d'importance de *P. scrobiculatum*, *P. amarus*, *O. corymbosa*, *E. hirta*, *C. hirtus*, *A. hispidum*, *D. horizontalis*, *L. hyssopifolia*, *B. xantholeuca* et *P. angulata*. Cependant, la majorité des adventices (64 espèces, soit 84%) ont des recouvrements inférieurs à 5% et ne constituent pas pour le moment une gêne culturale.

## DISCUSSION

La flore des bananeraies est composée de 76 espèces appartenant à 56 genres et 18 familles avec une nette dominance des dicotylédones qui constituent 68% des espèces et 83% des familles. La prédominance des espèces de la classe des dicotylédones semble être une des caractéristiques de la zone étudiée et au-delà des milieux cultivés du Sénégal. En effet, des études récentes dans la zone ont permis de noter que les dicotylédones englobent la majorité des espèces en culture de sorgho, de mil et du coton avec respectivement des proportions de 72, 70, 69% des espèces recensées (Ka *et al.*, 2019; Diouf *et al.*, 2019; Ka *et al.*, 2020). De plus, la proportion des dicotylédones dans cette étude coïncide avec celle des bananeraies du sud de la Côte d'Ivoire où Kouadio *et al.* (2013) ont répertorié 264 espèces dont 68% de dicotylédones. Certainement, l'échange de matériel végétal, la similarité dans les itinéraires techniques et l'utilisation des mêmes pesticides a fini d'année en année de sélectionner les espèces les plus adaptées aux écosystèmes des bananeraies.

Il ressort de cette étude qu'exceptées les Polygonaceae, neuf des dix familles contenant le plus d'espèces considérées comme des mauvaises herbes majeures mondiales sont présentes dans cette flore et représente 71% des espèces recensées. D'ailleurs, les cinq premières familles les plus diversifiées (Poaceae, Fabaceae, Malvaceae, Cyperaceae et Euphorbiaceae) dans les cultures de la banane en zone soudanienne du Sénégal appartiennent à cette catégorie.

La part prépondérante des Poaceae et des Fabaceae est en accord avec les observations de nombreux auteurs qui ont travaillé en région tropicale (Takim et Amodu, 2013; Osawaru *et al.*, 2014; Ahonon *et al.*, 2018; Amegnaglo *et al.*, 2018) et au Sénégal (Noba *et al.*, 2004; Sarr *et al.*, 2007;

Tableau 1: Liste des espèces répertoriées dans les bananeraies leur type biologique et leur valeur écologique

Espèce	Famille	T.B.	FR	RD	IVI
<i>Cyperus rotundus</i> L.	Cyperaceae <sup>M</sup>	A-P	70,0	53,5	144,6
<i>Commelina benghalensis</i> L.	Commelinaceae <sup>M</sup>	A	90,0	13,5	107,6
<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	Euphorbiaceae <sup>D</sup>	A	47,5	14,7	70,7
<i>Paspalum scrobiculatum</i> L.	Poaceae <sup>M</sup>	A-P	32,5	2,5	37,2
<i>Phyllanthus amarus</i> Sc.& Th.	Phyllanthaceae <sup>D</sup>	A	30,0	0,9	31,7
<i>Oldenlandia corymbosa</i> L.	Rubiaceae <sup>D</sup>	A	22,5	1,1	25,0
<i>Euphorbia hirta</i> L.	Euphorbiaceae <sup>D</sup>	A	22,5	0,7	24,0
<i>Croton hirtus</i> L'Hér.	Euphorbiaceae <sup>D</sup>	A	20,0	1,2	22,8
<i>Acanthospermum hispidum</i> DC.	Asteraceae <sup>D</sup>	A	15,0	1,5	19,1
<i>Digitaria horizontalis</i> Willd	Poaceae <sup>M</sup>	A	15,0	0,7	16,9
<i>Ludwigia hyssopifolia</i> (G.D.) Exell	Onagraceae <sup>D</sup>	A	15,0	0,7	16,9
<i>Brachiaria xantholeuca</i> St.	Poaceae <sup>M</sup>	A	12,5	0,9	15,4
<i>Physalis angulata</i> L.	Solanaceae <sup>D</sup>	A	12,5	0,7	14,7
<i>Corchorus olitorius</i> L.	Malvaceae <sup>D</sup>	A	10,0	0,7	12,7
<i>Portulaca quadrifida</i> L.	Portulacaceae <sup>D</sup>	A-P	10,0	0,4	11,5
<i>Setaria pumila</i> (Poir.) Roe & Sch.	Poaceae <sup>M</sup>	A	10,0	0,4	11,5
<i>Launaea taraxacifolia</i> (W.) Amin ex Jef	Asteraceae <sup>D</sup>	V	10,0	0,3	11,1
<i>Boerhavia diffusa</i> L.	Nyctaginaceae <sup>D</sup>	A	10,0	0,2	10,8
<i>Leonotis martinicensis</i> (J.) Man. & Gdb.	Lamiaceae <sup>D</sup>	A	7,5	0,4	9,3
<i>Mesosphaerum suaveolens</i> (L.) Kuntze	Lamiaceae <sup>D</sup>	A-P	7,5	0,2	8,5
<i>Pycnus flavescens</i> (L.) Beauv. ex Rchb.	Cyperaceae <sup>M</sup>	A	7,5	0,2	8,3
<i>Commelina forsskaolii</i> Vahl	Commelinaceae <sup>M</sup>	A	5,0	0,3	6,8
<i>Amaranthus graecizans</i> L.	Amaranthaceae <sup>D</sup>	A	5,0	0,1	5,7
<i>Boerhavia erecta</i> L.	Nyctaginaceae <sup>D</sup>	A	5,0	0,1	5,7
<i>Senna obtusifolia</i> I & B.	Fabaceae <sup>D</sup>	A	5,0	0,1	5,7
<i>Dactyloctenium aegyptium</i> Bauv.	Poaceae <sup>M</sup>	A	5,0	0,1	5,7
<i>Eleusine indica</i> Gaertn.	Poaceae <sup>M</sup>	A	5,0	0,1	5,7
<i>Ipomoea heterotricha</i> Didr.	Convolvulaceae <sup>D</sup>	A	5,0	0,1	5,7
<i>Ipomoea triloba</i> L.	Convolvulaceae <sup>D</sup>	A	5,0	0,1	5,7
<i>Kyllinga squamulata</i> Vahl.	Cyperaceae <sup>M</sup>	A	5,0	0,1	5,7
<i>Melochia corchorifolia</i> L.	Malvaceae <sup>D</sup>	A-P	5,0	0,1	5,7
<i>Mitracarpus hirtus</i> (L.) DC.	Rubiaceae <sup>D</sup>	A	5,0	0,1	5,7
<i>Cenchrus pedicellatus</i> Mor.	Poaceae <sup>M</sup>	A	5,0	0,1	5,7
<i>Portulaca oleraceae</i> Auct.	Portulacaceae <sup>D</sup>	A	5,0	0,1	5,7
<i>Sida rhombifolia</i> L.	Malvaceae <sup>D</sup>	A	5,0	0,1	5,7
<i>Urena lobata</i> L.	Malvaceae <sup>D</sup>	A-P	5,0	0,1	5,7
<i>Pentanema indicum</i> (L.) Y. Ling	Asteraceae <sup>D</sup>	A	5,0	0,1	5,7
<i>Brachiaria villosa</i> (L.) C.	Poaceae <sup>M</sup>	A	2,5	0,2	5,2
<i>Spermacoce stachydea</i> DC.	Rubiaceae <sup>D</sup>	A	2,5	0,2	5,2
<i>Acalypha segetalis</i> Müll. Arg.	Euphorbiaceae <sup>D</sup>	A	2,5	0,2	4,5
<i>Eragrostis ciliaris</i> R. Br.	Poaceae <sup>M</sup>	A	2,5	0,2	4,5
<i>Cyperus iria</i> L.	Cyperaceae <sup>M</sup>	A	2,5	0,1	3,8
<i>Pseudechinolaena polystachya</i> (K.) St.	Poaceae <sup>M</sup>	A	2,5	0,1	3,8
<i>Aeschynomene sensitiva</i> Sw.	Fabaceae <sup>D</sup>	A-P	2,5	0,1	3,2
<i>Alysicarpus ovalifolius</i> (Sch.) J. Léo.	Fabaceae <sup>D</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Amaranthus hybridus</i> L.	Amaranthaceae <sup>D</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Andropogon pseudapricus</i> Stapf	Poaceae <sup>M</sup>	A-P	2,5	0,1	3,2
<i>Chamaecrista absus</i> (L.) Ir. & Bar.	Fabaceae <sup>D</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Chamaecrista nigricans</i> (V.) G.	Fabaceae <sup>D</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Celosia trigyna</i> L.	Amaranthaceae <sup>D</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Commelina diffusa</i> B.F.	Commelinaceae <sup>M</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Commelina gambiae</i> Br.	Commelinaceae <sup>M</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Corchorus aestuans</i> L.	Malvaceae <sup>D</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Corchorus tridens</i> L.	Malvaceae <sup>D</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Crotalaria retusa</i> L.	Fabaceae <sup>D</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Cenium villosum</i> Berhaut	Poaceae <sup>M</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Cucumis maderaspatanus</i> L.	Cucurbitacées <sup>D</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Desmodium adscendens</i> (Sw.) DC.	Fabaceae <sup>D</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Echinochloa colona</i> (L.) Link	Poaceae <sup>M</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Euphorbia hyssopifolia</i> L.	Euphorbiaceae <sup>D</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Hibiscus mechowii</i> Garcke	Malvaceae <sup>D</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Cantinoa americana</i> (Au.) Hl. & Pas.	Lamiaceae <sup>D</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Indigofera hirsuta</i> L.	Fabaceae <sup>D</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Ludwigia abyssinica</i> R.	Onagraceae <sup>D</sup>	A-P	2,5	0,1	3,2
<i>Ludwigia octovalvis</i> (J.) R.	Onagraceae <sup>D</sup>	A-P	2,5	0,1	3,2
<i>Mariscus squarrosus</i> (L.) C.	Cyperaceae <sup>M</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Distimake aegyptius</i> (L.) Sm. & St.	Convolvulaceae <sup>D</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Nelsonia canescens</i> S.	Acanthaceae <sup>D</sup>	A-P	2,5	0,1	3,2
<i>Cenchrus polystachios</i> (L.) Morrone	Poaceae <sup>M</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Rottboellia cochinchinensis</i> (Lour.) Cl.	Poaceae <sup>M</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Rhynchosia minima</i> (L.) DC.	Fabaceae <sup>D</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Sida acuta</i> Burm. F.	Malvaceae <sup>D</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Sida urens</i> L.	Malvaceae <sup>D</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Tephrosia pedicellata</i> Baker	Fabaceae <sup>D</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Tephrosia platycarpa</i> Guill. & Perr.	Fabaceae <sup>D</sup>	A	2,5	0,1	3,2
<i>Vigna racemosa</i> (G.D.) Hutch. & Dalz.	Fabaceae <sup>D</sup>	A	2,5	0,1	3,2

A=annuelle; A-P= annuel-pérenne, DR= densité relative; FR= fréquence relative; IVI= importance value index; M= monocotylédones; D= dicotylédones; T.B.= type biologique

Bassène, 2014) et semble être une des spécificités de la flore adventice des milieux cultivés en zone sahélienne (Traoré et Maïllé, 1992). En effet, ces familles renferment un grand nombre de thérophytes qui sont des espèces annuelles très adaptées aux conditions de l'agrosystème par un cycle de vie très courts et une forte production de graines. Ces herbacées annuelles qui sont caractéristiques des milieux perturbés par les interventions agronomiques (Fenni, 2003) et représentent selon Godron (1974) le stade ultime de l'adaptation du végétal aux milieux fortement artificialisés. La prépondérance des espèces annuelles est donc une indication de la savanisation d'une zone soudanienne marquée par la disparition progressive des espèces pérennes qui sont supplantées progressivement par des espèces éphémères à cycle court.

L'étude de l'infestation à partir de la valeur écologique des espèces a permis de ressortir que *Cyperus rotundus*, *Commelina benghalensis* et *Euphorbia heterophylla* sont les espèces les plus communes et les plus infestantes dans les plantations de bananeraies du sud-est Sénégal. Ce sont des espèces adaptées aux pratiques culturales de la zone. En effet, *Cyperus rotundus* cumule les modes de reproduction à partir de graines, de rhizomes et d'autres propagules végétatives, favorisés par le travail du sol (Le Bourgeois et Marnotte, 2002). Le succès de *Commelina benghalensis* s'explique par sa résistance à la plupart des herbicides vulgarisés dans la zone, une multiplication sexuée et asexuée, le polymorphisme des graines et des besoins germinatifs et une longévité des graines qui peuvent rester viables pendant plus de vingt ans dans le sol (Merlier et Montégut, 1982; Le Bourgeois et Marnotte, 2002). De plus, il a été démontré que le labour peut stimuler de 20% la levée des graines de *C. benghalensis* dont le polymorphisme favorise l'existence de plusieurs horizons de germination.

Par ailleurs, le maintien d'une humidité permanente dans les parcelles de bananeraies est sans doute un facteur contribuant au pouvoir infestant de ces deux espèces à reproduction végétative.

Quant à *E. heterophylla*, elle n'est pas une espèce commune au Sud-Est du Sénégal mais elle est plutôt retrouvée dans les périmètres maraîchers le long de la grande côte atlantique de la zone des Niayes dans les cultures maraîchères (Sarr *et al.*, 2007; Ka, 2015). Sa présence est certainement le résultat de l'introduction de matériel génétique d'origine étrangère, notamment de la Côte d'Ivoire où elle est signalée par plusieurs auteurs (Ipou, 2000; Ipou *et al.*, 2004; Touré *et al.*, 2008) comme étant l'une des espèces les plus infestantes dans plus de dix cultures dont la banane (Touré *et al.*, 2008). Les différentes méthodes classiques de lutte (manuelle, mécanique et chimique) se sont révélées jusqu'à présent peu efficaces pour maîtriser l'espèce (Ipou *et al.*, 2004). Sa dynamique mérite une attention particulière car une étude menée au Brésil a démontré l'existence de génotypes résistants aux herbicides fomesafen, imazamox et glyphosate (Palma-Bautista *et al.* 2020). L'étude a ressorti que l'élimination de la moitié d'une population de génotype R, requiert une dose 16 fois plus élevée que la dose recommandée pour contrôler des génotypes de type S qui n'ont pas développé de résistance (Palma-Bautista *et al.* 2020). Ceci d'autant plus que, les méthodes traditionnelles de lutte comme le sarclage sont inefficaces voire contre-productives contre les adventices majeures des bananeraies de notre zone d'étude. En effet, plusieurs auteurs (Bello *et al.*, 2012; Bello, 2013) rapportent que les sarclo-binages,

l'irrigation et la fumure minérale intense étaient des facteurs favorables à la prolifération des espèces les plus adaptées aux écosystèmes agricoles comme *Commelina benghalensis*, *Cyperus rotundus* et *Portulaca quadrifida*.

En effet, les pratiques communes à l'instar du sarclo-binages entraînent généralement la fragmentation et la dispersion des propagules de ces mauvaises herbes, ce qui facilite leur multiplication et par conséquent un recouvrement intense qui rend difficile leur contrôle (Dembélé *et al.*, 1996; Le Bourgeois et Marnotte, 2002).

Il est aussi ressorti de cette étude que *Croton hirtus* fait partie des dix espèces les plus infestantes dans les bananeraies. D'après Kouadio *et al.* (2013), la présence de *Croton hirtus* dans une flore de bananeraie devrait inspirer de la vigilance du fait qu'elle est envahissante dans d'autres cultures et que par ailleurs elle est résistante aux herbicides.

Néanmoins, les résultats de cette étude indiquent que 89% des espèces recensées ne posent pas encore de problèmes d'enherbement du fait de leur faible fréquence et de leur faible pouvoir recouvrant, mais les adventices sont connues comme des espèces qui évoluent rapidement dans le temps et dans l'espace (Touré *et al.*, 2008). Dès lors, certaines de ces espèces doivent faire l'objet d'une attention particulière pour leur contrôle car leur développement est inféodé à de nombreux facteurs d'ordre climatiques, anthropiques et édaphiques. De plus, outre la nuisibilité directe des adventices par les phénomènes de compétitions, d'allélopathie pouvant découler de la présence de ces espèces, la plupart des adventices sont des hôtes alternatifs pour les pathogènes fongiques, bactériennes et virales. Les dégâts causés par les adventices sur les cultures peuvent donc être aussi indirects en ce sens qu'elles hébergent les vecteurs (pucerons) des virus, des champignons et des bactéries.

Des adventices identifiées dans cette étude telles que *Commelina benghalensis*, *Euphorbia heterophylla* et *Croton hirtus* sont reconnues comme étant des hôtes alternatifs du virus de la mosaïque du concombre (CMV), du virus de la pomme de terre (PVMY) et le virus de la panachure du piment (PVMV) (Le Bourgeois et Marnotte, 2002; Traoré *et al.*, 2013). Ces virus initialement inféodés aux cultures du concombre de la pomme de terre et de la tomate se retrouvent maintenant dans la plupart des cultures maraîchères et fruitières. Leurs symptômes sont multiples allant des nécroses noirâtres au niveau des nervures des plantes infestées à la mort de la plante attaquée (Traoré *et al.*, 2013).

## CONCLUSION

L'inventaire floristique dans les bananeraies du sud-est Sénégal qui concentre les trois quarts de la production a permis de recenser 76 espèces appartenant à 56 genres et 18 familles. Cette flore est constituée à 86% d'espèces annuelles contre 14% d'espèces à caractères pérennes. Les familles des Poaceae (15 espèces), des Fabaceae (12 espèces) et des Malvaceae (9 espèces) sont les mieux représentées et cumulent près de la moitié des adventices recensées dans les bananeraies. Sur le plan agronomique, trois espèces, à savoir *Commelina benghalensis*, *Cyperus rotundus*, *Euphorbia heterophylla*, apparaissent comme les espèces les plus infestantes dans les plantations de bananeraies. Les résultats de cette étude ont ressorti que la majorité des espèces ont une fréquence et un recouvrement faibles. Cependant, certaines d'entre-elles comme le *Cro-*

*ton hirtus* sont à surveiller afin de limiter leur expansion car elles sont envahissantes dans certaines zones et/ou culture et résistent à la plupart des herbicides de post-levée actuellement vulgarisée.

Cette étude préliminaire des adventices de la banane au Sénégal est utile et nécessaire pour évaluer des approches de lutte intégrée des adventices prenant en compte le travail du sol, l'utilisation des herbicides, la fertilisation et les variétés.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'Agence Canadienne d'Inspection des Aliments (ACIA) qui a entièrement financé cette étude dans le cadre de la mise en œuvre du Projet "Appui technique au renforcement des capacités semencières du Ministère de l'Agriculture et de l'Équipement Rural du Sénégal" dont les deux premiers auteurs intervenaient à titre de consultants.

## RÉFÉRENCES

- Achard R. (2016). Étude du fonctionnement d'associations entre le bananier et une couverture vivante; évaluation des potentialités et stratégies d'utilisation de plantes de service pour contrôler les adventices. Thèse de doctorat de L'Université Paris-Saclay, 144p.
- Ahonon B.A., Traoré A., Ipou Ipou J. (2018). Mauvaises herbes majeures de la culture de haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) dans la Région du Moronou au Centre-Est de la Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 12: 310-321.
- Akobundundu O.I., Agyakwa C.W. (1989). Guide des adventices d'Afrique de l'Ouest. Ibadan: IITA, Nigéria, 522p.
- Amegnaglo K.B., Dourma M., Akpavi S., Akodewou A., Wala K., Diwediga B., Atakpama W., Agbodan K.M.L., Batawila K., Akpagana K. (2018). Caractérisation des formations végétales pâturées de la zone guinéenne du Togo: typologie, évaluation de la biomasse, diversité, valeur fourragère et régénération. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 12: 2065-2084.
- ANSD (2022). Bulletin mensuel des statistiques économiques et financières. Dakar, Sénégal, 106 p.
- Badji S. (2017). Le sud du Sénégal à l'heure de la culture irriguée de la banane: innovations agricoles et dynamiques territoriales. Thèse de doctorat UGB, Université Paris-Sorbonne, 300 p.
- Bassène C. (2014). Flore adventice du maïs (*Zea mays* L.) dans le sud du Bassin arachidier (Sénégal): Structure et nuisibilité des espèces. Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar. Sénégal, 164 p.
- Bello S., Ahanchédé A., Gbèhounou G., Amadji G., Aho N. (2013). Diversité floristique, ethnobotanique et taxonomie locale des mauvaises herbes de l'oignon au Nord-Est du Bénin. *Tropicicultura*, 31 : 53-63.
- Centre de suivi Écologique (2009). Annuaire sur l'Environnement et les Ressources Naturelles du Sénégal. Dakar, 2<sup>e</sup> édition, 321 p.
- Champion J. (1960). Quelques indications sur les besoins en eau du bananier "nain". *Fruits*, 15: 387-400.
- Dembélé D., N'diaye M., Traoré N. (1996). Maîtrise des mauvaises herbes des cultures maraîchères par la lutte chimique: expérimentation sur le glyphosate et l'oxadiazon. Station de Recherche Agronomique, Baguinéda, Mali. *Bulletin de liaison* 10: 64-67.
- Diouf N., Mbaye M.S., Guèye M., Dieng B., Bassène C., Noba K. (2019). La flore adventice des cultures cotonnières dans le Sénégal Oriental et en Haute Casamance. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 13: 1720-1736.
- FAO (2022). Banana Market Review 2021 Rome.
- Fenni M. (2003). Étude des mauvaises herbes des céréales d'hiver des hautes plaines constantinoises. Écologie, Dynamique, phénologie et biologie des bromes. Thèse Doctorat En Sciences, Université Ferhat Abbas, Sétif, 165 p.
- Ipou Ipou J. (2000). Importance de *Euphorbia heterophylla* L. (Euphorbiaceae) dans la végétation adventice dans les systèmes culturaux à base de cotonniers dans le Worodougou, en Côte d'Ivoire. DEA de Botanique, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Ipou Ipou J., Marnotte P., Aman Kadio G., Aké S., Touré Y. (2004). Influence de quelques facteurs environnementaux sur la germination d'*Euphorbia heterophylla* L. (Euphorbiaceae). *Tropicicultura*, 22: 176-179.
- Ka S.L., Mbaye M.S., Guèye M., Camara A.A., Dieng B., Noba K. (2019). Flore adventice du sorgho (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) en Haute Casamance, zone soudanienne du Sénégal. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 13: 411-425.
- Ka S.L., Bamba B., Guèye M., Mbaye M.S., Noba K. (2019). Effect of rainfall gradient and previous crop on weed flora diversity in pearl millet (*Pennisetum glaucum* [L.] crop under Sudano-sahelian conditions of Senegal. *Journal of Research in Weed Science*, 3: 545-555.
- Keita A.K., Ly M.O., Diouf M., Guèye M. (2018). Test d'efficacité de agroptim sunset® (biostimulant foliaire) sur la croissance de jeunes plants de bananier sous divers régimes hydriques en condition semi-contrôlée en Casamance (Sénégal), Rapport d'activités ISRA/CRZ, 18 p.
- Kouadio P.Y., Tiébré M.S., Kassi J.N., N'Guessan E.K. (2013). Diversité floristique et déterminants de l'enherbement des bananeraies industrielles de Dabou au sud de la Côte d'Ivoire. *J. Appl. Biosciences*, 68: 5404-5416.
- Lassoudière A., Pinon A. (1971). Indications préliminaires sur des essais de désherbage chimique en bananeraie. *Fruits*, 26: 333-348.
- Le Bourgeois T., Marnotte P. (2002). Modifier les itinéraires techniques: la lutte contre les mauvaises herbes. In: *Mémento de l'agronome*. CIRAD, Montpellier, France; 663-684.
- Merlier H., Montégut J. (1982). Adventices Tropicales. Paris: Ministère des Relations extérieures. Coopération et développement, 490 p.
- Noba K., Ba A.T., Caussanel J.P., Mbaye M.S., Barralis G. (2004). Flore adventice des cultures vivrières dans le sud du Bassin arachidier (Sénégal). *Webbia*, 59 : 293-308.
- Osawaru E.M., Ogwu M.C., Chime A.O., Ebosa A.B. (2014). Weed flora of University of Benin in terms of diversity and richness using two ecological models. *Scientia Africana*, 13: 102-120.
- Palma-Bautista C., Rojano-Delgado A.M., Vázquez-García J.G., Yannicari M., De Prado R. (2020). Resistance to Fomesafen, Imazamox and Glyphosate in *Euphorbia heterophylla* from Brazil. *Agronomy*, 10: 1573.
- Sarr S, Mbaye MS, Ba AT. (2007). La flore adventice des cultures d'oignon dans la zone péri-urbaine de Dakar (Niayes) Sénégal. *Webbia*, 62 : 205-216.
- Takim F.O., Amodu A. (2013). A quantitative estimate of weeds of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) crop in Ilorin, Southern guinea savanna of Nigeria. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*, 6: 611-619.
- Touré A., Ipou Ipou J., Adou Yao C.Y., Boreaud M.K.N., N'Guessan E.K. (2008). Diversité floristique et degré d'infestation par les mauvaises herbes des agroécosystèmes environnant la forêt classée de Sanaimbo, dans le centre-est de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 20: 13-22.
- Traoré H., Maillat J. (1992). Flore adventices des cultures céréalières annuelles du Burkina Faso. *Weed Research*, 32: 279-293.



# Investissements publics, développement agricole et croissance économique en Côte d'Ivoire: Liens de causalité selon l'approche économétrique

Paul-Alfred Kouakou KOUAKOU<sup>1</sup>

(Reçu le 22/08/2022; Accepté le 12/10/2022)

## Résumé

Cette étude a pour objectif d'évaluer la contribution de l'investissement public au développement agricole et à la croissance économique en Côte d'Ivoire. Pour y parvenir, l'outil économétrique des séries temporelles basé sur le modèle ARDL a été utilisé. Les résultats de l'estimation montrent une relation positive entre les investissements nationaux (FBCF), la production agricole et le PIB à court et long terme. Par contre, l'Aide publique au Développement (APD) influence négativement la production agricole et la croissance économique ivoirienne à court et long terme. Enfin, l'Investissement Direct Étranger (IDE) n'a aucun effet sur le développement agricole et la croissance économique dudit pays. Alors, pour booster le développement économique en Côte d'Ivoire, l'État doit investir davantage dans le secteur agricole.

**Mots clés:** investissements publics, développement agricole, croissance économique, Côte d'Ivoire

## Public investments, agricultural development and economic growth in Côte d'Ivoire: An analysis of causal links according to the econometric approach

### Abstract

This study aims to assess the contribution of public investment to agricultural development and economic growth in Ivory Coast. To achieve this, the econometric time series tool based on the ARDL model was used. The estimation results showed a positive relationship between national investment (GFCF), agricultural production and GDP in the short and long term. On the other hand, Official Development Assistance (ODA) has a negative influence on agricultural production and economic growth in Ivory Coast in the short and long term. Finally, Foreign Direct Investment (FDI) has no effect on the agricultural development and economic growth of the country. Therefore, to boost economic development in Ivory Coast, the state must invest more in the agricultural sector.

**Keywords:** public investment, agricultural development, economic growth, Ivory Coast

## INTRODUCTION

En Côte d'Ivoire, comme dans beaucoup de pays en développement, l'agriculture est au cœur de l'économie. De ce fait, au lendemain des indépendances, l'accroissement et la diversification de la production agricole étaient un impératif pour propulser le développement économique (Kouakou, 2017).

L'objectif du pays était de promouvoir une agriculture moderne, mécanisée, intensive, largement diversifiée et compétitive. La Côte d'Ivoire est alors à la recherche de nouveaux mécanismes, à savoir les sources de financement qui pourront lui permettre de booster son économie notamment par le biais de l'agriculture. Le rôle de l'investissement public dans la croissance agricole voire économique est généralement tenu pour acquis. Cet ordre de grandeur tiré de l'expérience des pays occidentaux lors de la première révolution industrielle, doit d'ailleurs être augmenté, car les techniques employées sont aujourd'hui beaucoup plus gourmandes en capital qu'au 19<sup>ème</sup> siècle. Dès lors, cette politique publique était «tirée» par un effort considérable d'investissement public qui a soutenu un taux d'investissement élevé de l'ordre de 25% du PIB (MINADER, 2017). D'ailleurs, les bonnes performances économiques des années 60 et 70 justifient l'impact de cette politique gouvernementale (une croissance vigoureuse du produit intérieur brut à un rythme annuel de l'ordre de 7,5 %).

Mais, cette dynamique de croissance a été confrontée aux chocs extérieurs des années 1980 (MINADER, 2017). L'économie ivoirienne a alors connu une profonde récession avec un taux moyen de croissance de d'à peine 1%,

parfois même négatif. La productivité du capital a chuté de plus de 10 points, passant de 30% durant les années 70 à environ 18% en 1993, avec une dégradation considérable du taux d'épargne intérieure et du taux d'investissement (de 25% en 1980 à environ 8% en 1993). Les finances publiques se sont détériorées du fait de la contraction du PIB, d'un faible niveau de recouvrement fiscal et du niveau élevé des dépenses publiques. Ceci a conduit à un accroissement rapide de la dette publique qui a atteint 184% du PIB en 1993. De même, les paiements extérieurs se sont dégradés, se caractérisant par un solde du compte courant qui s'est situé à -11% du PIB en 1990 et -8% en 1993.

Comme alternative, en Côte d'Ivoire, de nombreuses mesures de restructuration sont prises au plan agricole et le pays opte pour un régime d'économie libéralisée. Il s'agit notamment de la restructuration des entreprises publiques du secteur agricole, de la suppression de certaines subventions, de la cession au secteur privé de certaines entreprises étatiques.

La part du budget d'investissement de l'État affectée au développement économique enregistre depuis 1996 une baisse sensible qui est la conséquence de la politique de privatisation et de libéralisation de l'économie. Si l'on se réfère au Programme d'Investissements Publics (PIP), on constate une baisse en valeur puisque le budget affecté à l'agriculture passe de 93,0 milliards FCFA en 1996, à 70,6 milliards FCFA en 1997, et à 68,0 milliards FCFA en 1998. Désormais, il appartient aux investissements privés d'être les moteurs de la croissance économique (Kouakou, 2020). Le secteur agricole s'inscrit ainsi dans la droite ligne de l'objectif gouvernemental qui, à travers l'élargissement du rôle des organisations privées et le développement

<sup>1</sup> Université Peleforo Gon Coulibaly, Korhogo, Côte d'Ivoire

d'un partenariat public/privé, est de faire passer la part des investissements du secteur privé dans l'investissement global voire agricole de 53 % en 1993 à 80 % dès 2000.

À la fin des années 2015, des investissements de l'ordre de FCFA 1 294 milliards (€ 1,9 milliard) ont été mobilisés sur un total de 2 040 milliards FCFA, soit 63,4% des ressources totales prévues du Programme National d'Investissement Agricole (PNIA) 2012-2016. Sur ce total de FCFA, 1 294 milliards d'investissements mobilisés, 61,1% ont émané des bailleurs (partenaires techniques et financiers), 21,7% des privés et 17,2% de l'État (MINADER, 2017).

D'où l'intérêt de notre étude qui analyse la relation entre l'investissement, le développement agricole et la croissance économique en Côte d'Ivoire.

Plus spécifiquement, il s'agit de:

- Déterminer les principales sources d'investissement de l'économie;
- Et d'évaluer le lien de causalité entre l'investissement, la production agricole et la croissance économique.

### Investissement public et la croissance économique

Plusieurs auteurs ont analysé la relation entre l'investissement public et la croissance économique. Les résultats obtenus par ces différents auteurs sont mitigés. En effet, les conclusions des études dépendent des échantillons et des indicateurs utilisés.

Devarajan *et al.* (1996) ont trouvé un impact négatif de l'investissement public sur la croissance du PIB par tête. Ils attribuent ce résultat, qui n'est pas en phase avec la théorie de la croissance à la non productivité de l'investissement public. Plus récemment, des études ont montré que les dépenses publiques ne captent pas correctement le stock de capital, particulièrement dans les pays en développement.

Dabla-Norris *et al.* (2011) ont montré que le lien entre les dépenses publiques et la croissance économique est affaibli par l'inefficacité des investissements. En effet, d'après ces auteurs, l'utilisation des investissements publics comme proxy du stock de capital dans les modèles de croissance pose problème. Dans les pays en développement, les investissements publics réalisés dans des contextes marqués par la corruption affectent négativement la croissance économique (Dabla-Norris *et al.*, 2011). Cette conclusion a été corroborée par les travaux de Calderon et Servén (2010, 2008). En effet, ces derniers ont trouvé que la corrélation n'est positive entre l'investissement public et la croissance économique que dans le cas où la qualité et la quantité de l'infrastructure sont prises comme proxy de l'investissement.

Pour le cas spécifique des pays de l'UEMOA, très peu d'études sur la relation entre l'investissement public et la croissance économique ont été réalisées. Dans son étude, Vamvakidis (1998) a estimé un modèle de panel pour expliquer les déterminants de l'investissement dans l'Union. Il a montré que le degré d'ouverture, la transparence du marché intérieur et la libéralisation financière sont positivement corrélées à l'investissement dans l'Union. Toutefois, cette étude ne s'intéresse pas spécifiquement à l'impact des investissements publics sur la croissance économique de l'Union.

Dans un autre cadre, Abou (2007) a trouvé un lien positif entre le volume des dépenses publiques d'investissement et la croissance économique d'une part, et d'autre part, entre l'augmentation de l'activité économique et l'accrois-

sement du ratio des dépenses publiques d'investissement sur les dépenses totales des États de l'Union. Bien que cette étude ait apporté des éclairages sur la structure des dépenses publiques et la croissance dans l'UEMOA, elle n'a pas abordé la question de l'efficacité des investissements publics dans l'Union.

Diagne et Fall (2007) ont analysé l'impact des dépenses publiques sur la productivité des entreprises au Sénégal. Leurs résultats montrent que les investissements publics jouent un rôle important dans l'accroissement de la productivité des entreprises au Sénégal, à travers la réduction du coût de production. Toutefois, cette étude est très restreinte dans l'analyse, dans la mesure où elle ne prend en compte que quelques entreprises du secteur moderne sélectionnées par échantillonnage.

## MÉTHODOLOGIE

### Spécification du modèle

Le présent modèle est inspiré du modèle ARDL de Pesaran *et al.* (2001) qui propose une nouvelle approche permettant d'obtenir de meilleures estimations sur des échantillons de petite taille. Ce choix répond au souci de mettre en évidence les mécanismes probables qui pourraient lier les variables. Il doit permettre de faire ressortir les relations possibles entre le PIB par habitant, l'Aide Publique au Développement (APD), l'Investissement Direct Étranger (IDE), la production agricole (PROAGR) et la Formation Brute du Capital Fixe (FBCF). Pour y parvenir, le modèle autorégressif à retards distribués, ARDL (Auto Regressive Distributed Lag model) a été estimé.

La représentation ARDL de la fonction PIB =  $f$  (FBCF, APD, IDE, PROAGR) est la suivante:

$$\Delta \text{PIB}_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_{1i} \Delta \text{PIB}_{t-i} + \sum_{i=0}^q \alpha_{2i} \Delta \text{FBCF}_{t-i} + \sum_{i=0}^q \alpha_{3i} \Delta \text{IDE}_{t-i} + \sum_{i=0}^q \alpha_{4i} \Delta \text{PROAGR}_{t-i} + \beta_1 \text{PIB}_{t-1} + \beta_2 \text{FBCF}_{t-1} + \beta_3 \text{IDE}_{t-1} + \beta_4 \text{PROAGR}_{t-1} + e_t$$

Avec:

- **Variable expliquée:**

PIB: Produit Intérieur Brut.

- **Variables explicatives:**

- FBCF: Formation Brute de Capital Fixe; APD: Aide Publique au Développement; IDE: Investissement Direct Étranger; PROAGR: Production Agricole.

•  $\Delta$ : Opérateur de différence première;  $\alpha_0$ : constante;  $\alpha_0 \dots \alpha_5$ : effets à court terme;  $\beta_1 \dots \beta_5$ : dynamique de long terme du modèle; et  $\sim \text{iid} (0, \sigma)$ : terme d'erreur (bruit blanc).

### Données de l'étude

Les données de cette étude sont tirées des bases des données de la Banque mondiale. Ces données annuelles couvrent la période allant de 1985 à 2017. Le choix de cette période d'étude s'impose par souci d'éviter des séries avec des données manquantes. De plus, les séries proposées par cette institution donne la possibilité d'effectuer des estimations sur une période assez longue permettant ainsi d'aboutir à des résultats suffisamment robustes. Ces données concernent certaines variables telles que le Produit Intérieur Brut par Habitant (PIBH), l'investissement direct étranger (IDE), la Formation Brute de Capital Fixe (FBCF), l'Aide Publique au Développement (APD) et la Production Agricole (PROAGR) (Tableau 1).

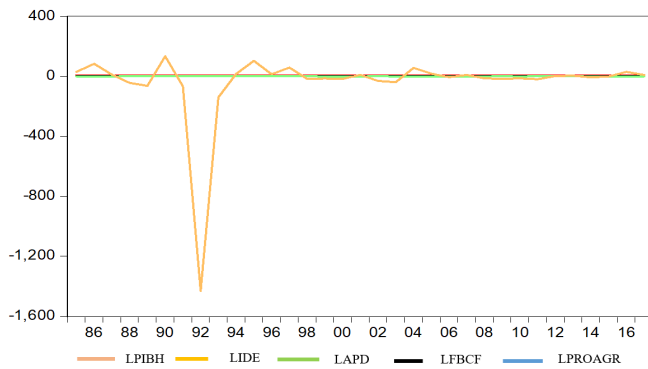
## RÉSULTATS ET DISCUSSION

### Caractéristiques descriptives des variables utilisées

Selon le tableau 2, la variable LIDE est plus volatile que toutes les autres variables (Kurtosis = 28,72703 > 3). La probabilité associée à la statistique de Jarque –Bera est inférieure à 5%, alors, la variable LIDE n’est pas normalement distribuée. Les autres variables du modèle (LPIBH, LFBCF, LAPD, LPROAGR) ont leur probabilité associée à la statistique de Jarque- Bera supérieure à 5%. Donc, ces variables sont normalement distribuées.

**Tableau 1: Variables utilisées**

Variables	Descriptions	Effet attendu
PIBH	Produit Intérieur Brut par tête exprimé en USD	+
FBCF	Formation Brute de Capital Fixe	+
IDE	Investissement Direct Étranger	+/-
APD	Aide Publique au Développement	+/-
PROAGR	Production Agricole	+



**Figure 1: Évolution des variables**

**Tableau 2: Résultats descriptifs des variables utilisées**

Rubriques	LPIBH	LFBCF	LAPD	LPROAGR	LIDE
Mean	7,209696	2,462738	1,321374	3,233656	<b>-39,46552</b>
Median	7,197757	2,446617	1,338495	3,202853	0,442387
Maximum	7,402426	2,971941	3,051082	3,526645	135,1297
Minimum	7,037612	2,110633	-0,587936	3,043504	-1431,835
Std. Dev.	0,101937	0,257793	0,845000	0,144735	254,8551
Skewness	0,405490	0,552320	<b>-0,139410</b>	0,619915	<b>-5,149389</b>
Kurtosis	2,094822	2,337870	2,437044	2,256191	28,72703
Jarque-Bera	2,030926	2,280637	0,542658	2,874345	1055,924
Probability	0,362235	0,319717	0,762366	0,237599	0,000000
Sum	237,9200	81,27036	43,60533	106,7107	-1302,362
Sum Sq. Dev.	0,332516	2,126638	22,84878	0,670341	2078436
Observations	33	33	33	33	33

Source: A partir des résultats d'EvIEWS 10

**Tableau 3: Résultats des tests de stationnarité**

Variables	Niveau				Différence 1 <sup>ère</sup>				Constat
	ADF	PP	AZ	Date de rupture	ADF	PP	AZ	Date de rupture	
LPIBH	0,86 (0,99)	-1,71 (0,41)	-9,03* (0,01)	2010	-3,78** (0,03)	-2,74 (0,07)	-	-	I(1)
LFBCF	-1,69 (0,72)	-1,44 (0,54)	-3,27 (0,51)	2011	-5,19* (0,00)	-5,19* (0,00)	-5,73* (0,1)	2011	I(1)
LIDE	-3,03 (0,14)	-4,86 (0,00)*	-27,89 (0,01)*	1992	-5,00 (0,00)	-21,69 (0,00)	-	-	I(0)
LAPD	-2,75 (0,07)	-2,68 (0,08)	-3,37 (0,45)		-7,27 (0,00)	-7,33 (0,00)	-8,34* (0,01)		I(1)
LPROAGR	-1,38 (0,57)	-1,49 (0,52)	-5,93* (0,01)	2001	-5,01 (0,00)	-5,45 (0,00)	-	-	I(0)

Note : \* indique que ces trois tests sont significatifs respectivement à 5%, (x,xx) Probabilité

### Évolution des variables

La figure 1 montre une certaine stabilité globale des variables étudiées dans le temps (présomption de la stationnarité en moyenne). Toutefois, la décennie 92 reste particulière quant aux événements qui imposent un comportement aux variables étudiées (des légers pics qui se suivent avec un creux).

En fait, les années 80 ont été marquées par une forte instabilité politique et une crise économique causée la chute des cours mondiaux du cacao. D’ailleurs, cette situation va précipiter le pays dans une profonde crise (1980-1993). Pendant cette période, l’on note une rupture du pays avec les milieux financiers internationaux (bailleurs bilatéraux) et les entreprises étrangères rapatrient massivement les capitaux.

Cependant, malgré ce contexte, certaines variables macro-économiques restent constantes (Figure 1). Kouakou (2020) soutient cette affirmation.

### Stationnarité des séries

Pour tester la stationnarité des données, trois types de test ont été réalisés: le test ADF, le test PP et le test AZ.

Selon le tableau 3, les tests ADF et PP, les variables LFBCF, LAPD sont toutes stationnaires en différence première et intégrées d’ordre 1. Aussi, la variable LPIBH est stationnaire en différence première selon les conclusions des tests ADF et AZ. Les variables LIDE, LPROAGR restent stationnaires à niveau et intégrées d’ordre 0. Au regard de ce qui précède, l’on peut noter que les séries sont intégrées à des ordres différents. Ce qui rend inefficace le test de cointégration de Engle, de Granger (cas multivarié) et de Johansen. Alors, le test de cointégration aux bornes (Pesaran *et al.*, 2001) est opportun.

### Détermination du nombre de retard optimal

Selon le tableau 4, le critère Schwarz (SC) indique que les minimas des statistiques correspondent au retard 1, tandis que celui d'Akaike (AIC) et d'Hannan-Quin (HQ) montrent que les maximas des statistiques correspondent tous au retard 2. Le nombre de retard du modèle est alors 2.

**Tableau 4: Résultats de la détermination du nombre de retards**

Retard	AIC	SC	HQ
0	11,65932	11,89506	11,73315
1	7,823796	9,238240*	8,266782
2	7,333613*	9,926760	8,145754*

\* Indication de l'ordre retenu par le critère

### Test de cointégration de Pesaran *et al.* (2001)

#### Décalage optimal du modèle ARDL

Le critère d'information d'Akaike (AIC) a servi de base pour sélectionner le modèle ARDL optimal (Tableau 5). D'après ce critère, toutes les variables ne sont pas statistiquement significatives, exception faite à la variable FBCF. Mais, le modèle est globalement significatif avec un  $R^2 = 98\%$ . Cela signifie que les variables explicatives (IDE, FBCF, APD, PROAGR) influencent à 98% la variation de la variable expliquée (PIBH).

Selon Tableau V, l'on obtient l'équation suivante:

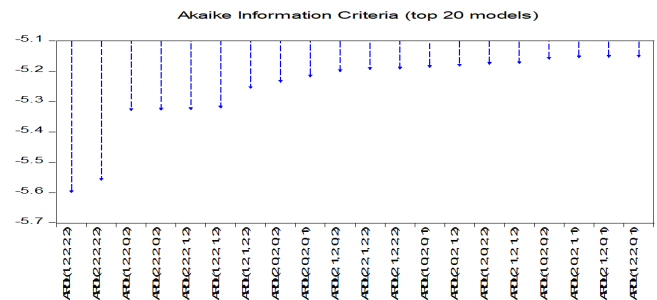
$$\begin{aligned} LPIBH = & C(1) * LPIBH(-1) + C(2) * LFBCF + C(3) * LFBCF(-1) + C(4) \\ & * LFBCF(-2) + C(5) * LIDE + C(6) * LIDE(-1) + C(7) * LIDE(-2) \\ & + C(8) * LAPD + C(9) * LAPD(-1) + C(10) * LAPD(-2) + C(11) \\ & * LPROAGR + C(12) * LPROAGR(-1) + C(13) * LPROAGR(-2) + C(14) \end{aligned}$$

**Tableau 5: Modèle ARDL (1, 2, 2, 2,2)**

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.*
LPIBH(-1)	0,471665	0,113356	4,160933	0,0007
LPIBH(-2)	0,096099	0,111158	0,864528	0,4001
LFBCF	<b>0,159205</b>	<b>0,016633</b>	<b>9,571532</b>	<b>0,0000</b>
LFBCF(-1)	0,033580	0,025690	1,307157	0,2096
LFBCF(-2)	0,087091	0,021307	4,087436	0,0009
LIDE	<b>2,77E-06</b>	<b>7,59E-06</b>	<b>0,365335</b>	<b>0,7196</b>
LIDE(-1)	2,26E-05	7,81E-06	2,891733	0,0106
LIDE(-2)	3,69E-05	9,04E-06	4,081995	0,0009
LAPD	<b>-0,003548</b>	<b>0,002998</b>	<b>-1,183253</b>	<b>0,2540</b>
LAPD(-1)	-0,002607	0,003261	-0,799552	0,4357
LAPD(-2)	-0,009988	0,003046	-3,278889	0,0047
LPROAGR	<b>0,020548</b>	<b>0,041822</b>	<b>0,491315</b>	<b>0,6299</b>
LPROAGR(-1)	0,080744	0,041344	1,952952	0,0685
LPROAGR(-2)	0,193738	0,039423	4,914328	0,0002
C	<b>1,493459</b>	<b>0,255924</b>	<b>5,835553</b>	<b>0,0000</b>
R-squared	<b>0,989593</b>	Mean dependent var		7,197459
Adjusted R-squared	<b>0,980487</b>	S.D. dependent var		0,092357
S.E. of regression	0,012901	Akaike info criterion		-5,556658
Sum squared resid	0,002663	Schwarz criterion		-4,862793
Log likelihood	101,1282	Hannan-Quinn criter.		-5,330475
F-statistic	<b>108,6761</b>	Durbin-Watson stat		<b>2,389631</b>
Prob(F-statistic)	<b>0,000000</b>			

### Estimation du modèle ARDL

Le modèle ARDL (1,2,2,2,2) est le plus optimal parmi les 19 autres présentés, car il offre la plus petite valeur du AIC (Figure 2).



**Figure 2: Valeurs AIC**

### Diagnostic du modèle ARDL

Selon le tableau 6, les erreurs sont normalement distribuées, car la probabilité associée à Jarque-Bera est supérieure à 5% (28%). L'hypothèse de normalité des résidus est validée. En outre, les séries sont stationnaires. Au regard du test de ARCH, la probabilité associée à la statistique de Fisher est supérieure à 5% (81%). Ce qui conduit à l'acceptation de l'hypothèse nulle d'homoscédasticité.

**Tableau 6: Résultat des tests diagnostiques du modèle ARDL estimé**

Hypothèse du test	Tests	Valeurs (Probabilités)
Autocorrélation	Breusch-Godfrey	0,95 (0,40)
Hétéroscédasticité	Breusch-Pagan-Godfrey	0,84 (0,62)
	ARCH	0,21 (0,81)
Normalité	Jarque-Bera	2,47 (0,28)
Spécification	Ramsey (Fisher)	0,86 (0,39)

De plus, au seuil de 5%, il indique une absence d'auto-corrélation des résidus. Par ailleurs, le test de RESET de Ramsey montre que le modèle ne souffre d'aucun problème d'omission de variable et la p-value du test est supérieure à 5%. En d'autres termes, le modèle est bien spécifié et validé sur le plan statistique. En somme, le modèle ARDL (1,2,2,2,2) estimé est globalement significatif et explique à 98% la dynamique du PIB par habitant en Côte d'Ivoire de 1985 à 2017.

### Test de cointégration aux bornes

Les résultats du test de cointégration aux bornes confirment l'existence d'une relation de cointégration entre les variables étudiées (la valeur de F-stat est supérieure à la valeur de la borne supérieure) selon le Tableau 7.

### Causalité au sens de Toda-Yamamoto entre variables

Au sens de Toda-Yamamoto, il existe une causalité bidirectionnelle entre les variables PROAGR et PIB, puis, entre PIB et ADP. En outre, il existe une relation unidirectionnelle entre les variables FBCF et PIB, entre ADP et PROAGR, puis enfin, entre FBCF et PROAGR. Les variables ADP et FBCF justifient la dynamique de l'agriculture ivoirienne,

qui a son tour influence la croissance économique. Par contre, l'IDE qui n'a pas de lien de causalité avec toutes les autres variables et n'influence ni le développement agricole, ni la croissance économique (Tableau 8).

### Coefficients de court terme (CT)

Le coefficient d'ajustement ou force de rappel est statistiquement significatif (Tableau 9). Il est négatif et est compris entre zéro et un en valeur absolue. Ce qui garantit un mécanisme de correction d'erreur, et donc l'existence d'une relation de long terme (cointégration) entre variables.

**Tableau 7: Résultats du test de cointégration de Pesaran *et al.* (2001)**

Variables	LPIBH, LFBCF, TXIED, LAPD, LPROAGR	
F-stat calculée	27.81790	
Seuil critique	Borne <	Borne >
1%	3,74	5,06
5%	2,86	4,01
10%	2,45	3,52

**Tableau 8: Résultats du Test de Causalité de Toda-Yamamoto**

K	Dmax	Variables dépendantes (VD)	Variables explicatives ou causales / VC (probabilités)				
			LPIBH	LFBCF	LIDE	LAPD	LPROAGR
4	1	LPIBH	-	20,06* (0,00)	2,75 (0,25)	5,24** (0,07)	12,69* (0,00)
		LFBCF	3,40 (0,18)	-	0,35 (0,83)	1,57 (0,45)	1,99 (0,36)
		LIDE	0,01 (0,99)	0,51 (0,77)	-	0,17 (0,91)	0,29 (0,86)
		LAPD	0,00 (0,99)	0,35 (0,83)	2,71 (0,25)	-	0,39 (0,81)
		LPROAGR	18,39* (0,00)	11,65* (0,00)	2,49 (0,28)	4,35** (0,1)	-

**Tableau 9: Résultats d'estimation des coefficients de CT**

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1,560171	0,333460	4,678737	0,0002
LPIBH(-1)*	-0,447004	0,086422	-5,172348	0,0001
LFBCF(-1)	0,276888	0,039078	7,085491	0,0000
LIDE(-1)	6,04E-05	2,06E-05	2,930466	0,0093
LAPD(-1)	-0,016532	0,005387	-3,068866	0,0070
LPROAGR(-1)	0,309782	0,073977	4,187563	0,0006
D(LFBCF)	0,157159	0,022499	6,985153	0,0000
D(LFBCF(-1))	-0,095192	0,026151	-3,640093	0,0020
D(LIDE)	3,17E-06	1,04E-05	0,305851	0,7634
D(LIDE(-1))	-3,47E-05	1,18E-05	-2,928480	0,0094
D(LAPD)	-0,003515	0,004097	-0,857951	0,4029
D(LAPD(-1))	0,010644	0,004032	2,640243	0,0172
D(LPROAGR)	0,029823	0,055240	0,539885	0,5963
D(LPROAGR(-1))	-0,193361	0,053871	-3,589349	0,0023
	CointEq(-1)*	-0,447004	0,033107	-13,50171

### Coefficients de Long terme (LT)

Selon le tableau 10, les variables FBCF et PROAGR ont un impact positif sur la croissance sur la période 1985-2017. A long terme, l'élasticité du taux de variation des flux entrant du LogFBCF par rapport au logPIBH est de 6,1% et celui de l'élasticité du log PROAGR par rapport au logPIBH est de 69%. Par contre, l'APD a un effet négatif sur la croissance économique sur cette même période. L'élasticité du logAPD par rapport au logPIBH est de -3,6 %. Mais, la variable IDE n'a aucun effet sur le PIBH à long terme sur la période 1985-2017.

Au vu de ces résultats, l'on peut noter que les investissements, en occurrence, la Formation Brute du Capital Fixe (FBCF) permet d'augmenter la production agricole. Cette production agricole impacte positivement à son tour la croissance économique et permet l'amélioration des conditions de vie des populations ivoiriennes. Cette assertion est soutenue par Bigot et Raymond (1991).

Par contre, l'Aide publique au Développement (APD) a une influence négative sur la croissance économique. En effet, depuis le milieu des années 80, l'aide publique au développement en faveur de l'agriculture a sensiblement baissé (AISA, 2010).

Aussi, l'Investissement Direct Étranger (IDE) n'a aucun effet sur la croissance économique de la Côte d'Ivoire. Selon CNUCED (2008), la part de l'IDE agricole dans l'IDE total est très faible (0,7 %). Il joue donc un rôle mineur dans le secteur agricole. En général, l'IDE se concentre principalement sur les activités en aval (transformation, fabrication, commerce etc.).

### CONCLUSION

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet des investissements publics sur le secteur agricole et le développement économique en Côte d'Ivoire.

Il ressort des résultats, qu'à court et long terme, la formation brute du capital fixe (FBCF), influence la production agricole et, de ce fait, a un impact positif et très significatif sur la croissance économique. A contrario, l'aide publique au développement (APD) a, quant à elle, une influence négative et significative sur la production agricole et le développement économique. Par ailleurs, les investissements directs étrangers (IDE) n'ont aucun lien avec les autres variables et donc n'ont aucun effet sur le secteur agricole et sur la croissance économique.

En définitive, ces résultats montrent l'importance des investissements publics, en l'occurrence, la formation brute du capital fixe (FBCF), dans le secteur agricole et la croissance économique de la Côte d'Ivoire.

**Tableau 10: Résultats d'estimation des coefficients de Long Terme**

Variable dépendante: LPIB				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LFBCF	0,619430	0,036604	16,92236	0,0000
LIDE	0,000135	3,77E-05	3,584272	0,0023
LAPD	-0,036985	0,006614	-5,591616	0,0000
LPROAGR	0,693018	0,047615	14,55452	0,0000
C	3,490285	0,179834	19,40842	0,0000
EC = LPIBH - (0,6194*LFBCF + 0,0001*LIDE - 0,0370*LAPD + 0,6930*LPROAGR + 3,4903)				

### RÉFÉRENCES

- Abou B. N. (2007). Structure des Dépenses Publiques, Investissement Privé et Croissance dans l'UEMOA. Document d'Étude et de Recherche No. DER/07/04 (Banque Centrale des États de l'Afrique de l'Ouest, Dakar).
- AISA (2010). Programme national d'investissement agricole (2010-2015). Rapport d'expertise de l'Association Ivoirienne des Sciences Agronomiques (AISA). <http://extuprleg1.fao/docs/pdf/TVC1176030.pdf>.
- Bigot Y., Raymond G. (1991). Traction animale et motorisation en zone cotonnière d'Afrique de l'Ouest: Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Mali, Montpellier: CIRAD-DSA (Documents systèmes agraires, No 14, 105 p).
- Calderon C., Serven L. (2010). Infrastructure and economic development in Sub-Saharan Africa. *Journal of African Economies*, 19: 13-87.
- CNUCED (2008). Trade and Development Report 2008. New York et Genève: Nations Unies.
- Dabla N. E., Mills Z., Brumby J., Kyobe A. (2011). Investing in public investment: an index of public efficiency. *Journal of Economic Growth*, 17: 235-266.
- Devarajan S., Swaroop V., Zou H.F. (1996). The composition of expenditure and economic growth. *Journal of Monetary Economics*, 37: 313-344.
- Diagne S.Y., Fall A. (2007). Impact des infrastructures publiques sur la productivité des entreprises au Sénégal. Document de travail 02, DPEE/DEPE.
- Domar, E.D. (1946). Capital expansion, rate of Growth, and employment. *Econometrica*, 14: 137-147.
- Kouakou K.P.-A. (2017). Évaluation de la performance productive de l'agriculture urbaine dans le district d'Abidjan. *European Scientific Journal*, 288-301.
- Kouakou K.P.-A. (2020). Role of trade in natural rubber and palm oil in the composition of GDP in Ivory Coast. *Agricultural and Resource Economics*, 6: 48-63.
- MINADER (2017). Projet d'appui à la compétitivité de la filière anacarde en Côte d'Ivoire. Rapport sur la chaîne de valeur de l'anacarde, 168 p.
- Pesaran M.H., Shin Y. and Smith R. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*. 16: 289-326.
- Vamvakidis A. (1998). Regional integration and economic growth. *The world Bank Economic Review*, 12: 251-270.

# Incidence de la dépréciation du franc congolais sur les prix de produits carnés vendus sur le marché de Kisangani

G. ENAMBUMBI<sup>1</sup>, S. P. KIMWANGA<sup>1</sup>, L. M. KABUITA<sup>1</sup>, A. K. LUKUSA<sup>2</sup>

(Reçu le 30/08/2022; Accepté le 08/10/2022)

## Résumé

Cette investigation a pour objectif global d'évaluer l'effet de la dépréciation du franc congolais par rapport au dollar américain sur les prix de denrées alimentaires, spécialement les produits carnés disponibles dans le marché de Kisangani en République Démocratique du Congo. Au terme de cette recherche, nous avons évalué le comportement de la variation du taux de change sur les prix de produits carnés, les élasticités ainsi que la corrélation entre ces deux variables. Les méthodes analytique et statistique associées à la technique documentaire ont été utilisées pour la collecte de données dans les documents et publications officielles de l'Institut National de la Statistique ainsi que de la Banque Centrale du Congo. L'analyse de la série chronologique à l'aide de la régression simple et du calcul de ratio ont permis l'interprétation des résultats. Au bout de cette recherche, il s'est révélé que les indices des prix de produits carnés à l'occurrence la viande de bœuf, de porc, viande boucanée (de singe) et de poulet vif sont globalement à la hausse dans la série temporelle. L'indice du taux de change de son côté, a suivi une augmentation de façon exponentielle ( $\pm$  de 27,2) par rapport à la moyenne. Concernant les élasticités, une augmentation du taux de change de 1% a entraîné un accroissement du prix de plus de 1% dans quelques années au cours de la période d'étude. Il s'agit des années 2010 et 2011, de 2014 et 2016 excepté pour la viande de porc et de 2012, excepté la viande de bœuf ainsi que celle de porc. Tandis qu'une augmentation du taux de change de 1% a été traduite par une diminution de prix de moins d'1% pour les produits sous-examen durant les années 2013, 2015 et 2017. L'analyse des résultats des coefficients de la droite de régression simple a révélé l'existence d'une corrélation positive entre les cours de change et le prix moyen de produits étudiés de l'ordre de 74,5%.

**Mots clés:** Effet, dépréciation, franc congolais, prix, produits carnés, marché de Kisangani

## Impact of the depreciation of the Congolese franc on the prices of meat products sold on the Kisangani markets

### Abstract

The overall objective of this investigation is to assess the effect of the depreciation of the Congolese franc against the US dollar on the prices of foodstuffs, especially meat products available in the Kisangani market in the Democratic Republic of Congo. At the end of this research, we evaluated the behavior of exchange rate variation on meat product prices, the elasticities and the correlation between these two variables. Analytical and statistical methods associated with the documentary technique were used for data collection in official documents and publications of the National Institute of Statistics and the Central Bank of Congo. Time series analysis using simple regression and ratio calculation allowed for the interpretation of the results. At the end of this research, it was found that the price indices for meat products, namely beef, pork, smoked meat (monkey meat) and live chicken, are generally on the rise in the time series. The exchange rate index, on the other hand, has increased exponentially ( $\pm$ 27.2) compared to the average. Concerning elasticities, a 1% increase in the exchange rate led to a price increase of more than 1% in a few years during the study period. While an exchange rate increase of 1% resulted in a price decrease of less than 1% for the products under review in the years 2013, 2015 and 2017. The analysis of the results of the coefficients of the simple regression line revealed the existence of a positive correlation between the exchange rate and the average price of the products studied of the order of 74.5%.

**Keywords:** Effect, depreciation, Congolese franc, price, meat products, Kisangani market

## INTRODUCTION

Depuis les années 1970 jusqu'aux années 1990, l'État Congolais a recouru à la planche à billets pour financer ses déficits publics successifs. Cela a mené l'économie dans un processus auto-entretenu d'hyperinflation et de dépréciation continue de la monnaie nationale. La dollarisation s'est développée parallèlement à la hausse de l'inflation (Ngonga et Mususa, 1998). L'inflation est passée de 5% en 1970 à 15% en 1972. Puis, la hausse annuelle des prix à la consommation a rapidement progressé pour atteindre environ 50% vers fin 1980 et 265% en 1990. La décennie 1990 fut celle de l'hyperinflation en RDC, la hausse annuelle des prix atteignant plus de 9 700% à fin 1994. Un record historique de 90 000% a même été atteint entre août 1993 et septembre 1994 (Beau grand, 1997 cité par la Banque mondiale, 2015).

Toutefois, l'augmentation du niveau général des prix ne s'accompagne nécessairement pas d'une augmentation des

prix de tous les produits sur le marché. Selon Campbell *et al.* (1994) dans toutes les économies, même en période d'hyperinflation, les prix ne suivent pas le même rythme d'évolution pour tous les biens et services.

Cependant, les pressions sur les prix intérieurs ont notamment été alimentées par les révisions à la hausse des prix du carburant à la pompe, le renchérissement de quelques produits céréaliers importés et la dépréciation de la monnaie nationale (Mutombo, 2018).

Nonobstant de ce qui précède, l'inflation a légèrement accéléré en 2014, l'indice des prix à la consommation augmentant de 1,25% en moyenne et en glissement annuel, comparé à respectivement 0,8% et 1% en 2013. Mais l'inflation reste en dessous de l'objectif de moyen terme de 3,7% fixé par les autorités. Ces faibles taux sont le résultat de la décélération de l'inflation qui a commencé en 2010, alors que le taux d'inflation était de 46% en 2009 (Banque mondiale, 2015).

<sup>1</sup> Département de l'économie Agricole, Institut Facultaire de sciences Agronomiques de Yangambi, République Démocratique du Congo

<sup>2</sup> Université Officielle de Mbuji-Mayi, Département de l'économie agricole, Faculté des sciences Agronomiques, Mbuji-Mayi, République Démocratique du Congo

Au cours de l'année 2017, le marché des changes a été caractérisé par la poursuite de la dépréciation du taux de change, quoi qu'à un rythme relativement moins soutenu comparativement à l'année 2016. En effet, sur le marché officiel, il a été enregistré un taux de dépréciation de la monnaie nationale de 23,6 %, d'après les données à fin période, contre 23,7 %, une année auparavant. Le niveau des réserves de change continue à diminuer et correspond en septembre 2016 à 4,4 semaines d'importations de biens et services (DFAE, 2016). Dès lors que les prix des produits agricoles sont élevés, ceux des produits de substitution proches, comme les produits carnés, les poissons, s'en ressentent, ce qui pourrait accroître encore davantage les pressions exercées sur des stocks halieutiques déjà surexploités et stimuler la demande de poisson d'élevage (FAO, 2007).

Cette situation afflige tous les ménages congolais en général et en particulier, ceux de la ville de Kisangani ayant un bas revenu et détenteurs d'un pouvoir d'achat faible ou instable. Elle devrait se révéler préoccupante puisque l'alimentation demeure l'un des aspects les plus essentiels des droits de l'homme et surtout pour les enfants en bas âge. La consommation de produit d'origine animale, en l'occurrence la viande et les produits laitiers, présente des atouts considérables permettant un apport aisé de micronutriments essentiels qu'il serait difficile de remplacer par l'apport de protéines végétales (De Schutter, 2009).

Cette préoccupation est partagée par toutes les couches de la population et est posée en termes d'inaccessibilité aux produits alimentaires de base par suite de la faiblesse du pouvoir d'achat et de la déficience du secteur productif. C'est ainsi que sur base des données issues de comptabilités et des publications allant de 2010 à 2017, nous avons calculé l'indice simple du prix, du taux de change du franc congolais, l'élasticité prix-taux de change ainsi que le niveau de corrélation entre ces deux variables, pour en tirer des enseignements utiles.

## APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

### Cadre géographique

Kisangani est le chef-lieu de la province de la Tshopo. Située à l'arc Nord-Est du fleuve Congo, à 1700 km de Kinshasa, aux célèbres rapides des Wagenia, la ville de Kisangani est située à 00°31' latitude Nord et 25°11' longitude Est. Capitale Provinciale, Kisangani occupe dans l'armature urbaine congolaise la troisième place comme pôle économique de la RD Congo après Kinshasa et Lubumbashi. Cette métropole joue ainsi un rôle déterminant au Nord-Est du pays (Anonyme, 2017). Sa superficie moyenne est d'environ 1910 Km<sup>2</sup>. La ville de Kisangani s'étend sur deux rives du fleuve Congo, la grande partie est bâtie sur la rive droite, au nord elle borne la rivière Tshopo qui coupe une des six communes en deux à savoir la commune de la Tshopo. Les températures moyennes atteignent respectivement de 30 °C le jour et 20 °C la nuit (Bolakonga, 2013). Administrativement, Kisangani comprend six communes: Makiso, Tshopo, Kabondo, Mangombo, Kisangani ainsi que Lubunga et limité: Au Nord par Km 18, route Kisangani-Buta et Km 15 ancienne route Buta; au Sud par Km 10, route Kisangani- Ubundu et Km 19, route Kisangani-Upala; à l'Est par Km 22, route Kisangani-Ituri; à l'ouest par Km 15, route Kisangani-Yangambi.

### Différents marchés de la ville de Kisangani

Les principaux marchés considérés dans cette étude sont: le marché de Beach Djubu-Djubu qui fut situé à deux ailes, de Mangombo et de Tshopo, le marché Isomela dans la commune de Lubunga, le marché du 11<sup>ème</sup> avenue Tshopo dans la commune de la Tshopo, le marché de Foyer dans la commune de Kabondo, le marché Central du 15 Mars dans la commune de Makiso, le marché du route de l'aéroport Bangboka dans la commune de Kisangani ainsi que le marché de l'IAT (International Aviation et Transport) dans la commune de Makiso.

### Source des données

Les principales sources des données pour une étude socio-économique sont les comptabilités, les publications et les enquêtes (Darpoux et Roussel, 1972).

Cependant, pour circonscrire nos résultats, une collecte des données documentaires a été faite (Granwitz, 2002). Dans cette perspective, nous avons fait appel aux méthodes analytique et statistique qui ont consisté à collecter de données de prix moyens à la consommation dans les annuaires statistiques de l'Institut National des Statistiques (INS), ainsi que les données concernant le taux de change moyen du franc congolais par rapport au dollar américain (USD) à la Banque Centrale du Congo (BCC).

Nous avons recouru à la technique documentaire associée à celle d'interviews. A cet effet, cette dernière nous a permis de s'entretenir avec les responsables des institutions précitées pour les informations supplémentaires tandis que la technique documentaire nous a permis de consulter les différentes publications en rapport avec les objectifs de la présente étude.

Les principaux produits carnés disponibles sur le marché de Kisangani, le cours de change ainsi que le temps constituent les variables mises en examens dans cette recherche.

Pour l'analyse des données, la statistique descriptive et inférentielle a été utilisée. Les paramètres de position et de dispersion comme la moyenne arithmétique, le maximum, minimum et l'écart type ont été calculés moyennant le logiciel SPSS. Les droites de régression et le coefficient de détermination ont été trouvés en servant du logiciel Microsoft Excel 2019. Grâce à ce dernier nous avons calculé le coefficient de corrélation pour chaque produit carné.

### Traitement des données

Les données collectées ont été soumises à une analyse en fonction des objectifs poursuivis dans la présente étude. Pour parvenir à cette fin, des outils statistiques et économétriques ont été également utilisés. Pour chaque produit, des modèles de régression simple ont été construits afin d'expliquer la relation existante entre les prix des produits carnés (viande de bœuf, viande de porc, viande séché et Poulet vif) et le taux de change.

### Calcul de l'indice de prix élémentaire et du taux de change

D'après Coeurjolly (2010), l'indice de prix élémentaire permet d'apprécier l'inflation. Dans le cadre du présent travail, l'indice de prix élémentaire ou à l'alimentation a été calculée pour chaque produits. C'est un indice simple. La formule que nous avons utilisée pour calculer cet indice



est la suivante:

$$It/o = \frac{Vt}{Vo} \times 100$$

Avec:

$It/o$  est l'indice élémentaire (simple),

$Vt$  est la valeur de la grandeur étudiée au temps  $t$  ( $t$  est la date courante) qui est soit le prix ou soit le taux de change pour notre cas,

$Vo$  est la valeur de la grandeur étudiée au temps 0 (0 est l'année de référence) qui est soit le prix ou soit le taux de change pour notre cas.

Par ailleurs, l'indice du taux de change permet de mesurer le niveau d'appréciation et ou de dépréciation de la monnaie nationale par rapport aux devises (Hurlin et Mignon, 2015).

$$\text{Indice du taux de change} = \frac{\text{Taux de change année étudiée}}{\text{taux de change année de base}} \times 100$$

### Élasticité taux de change-prix

Elle a permis de comprendre le degré selon lequel le prix pour un produit répond à une variation à 1% du taux de change.

$$\epsilon_t = \frac{\delta px / px}{\delta tc / tc}$$

Où  $\epsilon_t$ , désigne l'élasticité taux de change prix de chaque produit carné sous étude,  $\delta tc$  la variation du taux de change,  $\delta px$  la variation du prix de produit carné ciblé,  $px$  le prix du produit carné ciblé,  $tc$  taux de change (Houchmandzadeh, 2011).

### Modélisation

#### Présentation des modèles

$$Y = a_0 + a_1 X + \epsilon \quad \text{ou} \quad Y = a_0 + a_1 X + a_2 X^2 + \epsilon$$

$Y$ : Variable dépendante ou expliquée représentant la  $t$  ième observation faite sur les prix de produits considérés,

$X$ : Variable indépendante représentant la  $t$  ième observation faite sur le taux de change du franc congolais (cotation à l'incertain) par rapport au dollar américain (USD).

$\epsilon$ : le terme d'erreur.

$a_0$  et  $a_1$ : représentent les paramètres du modèle (ou les coefficients).

Le coefficient  $a_0$  est l'ordonnée à l'origine et  $a_1$  est le coefficient angulaire de la droite. La valeur du dernier coefficient indique qu'en moyenne, à un changement d'une seule unité en  $t$  correspond un changement de  $b$  unités en  $y$  (Rakotomala, 2017).

#### Tests des modèles

##### Coefficient de détermination et de corrélation partielle

Le coefficient de détermination (variant entre 0 et 1) est noté par  $r^2$ . Il permet de juger la qualité de l'ajustement du modèle. Son pouvoir explicatif du modèle est d'autant plus grand que sa valeur est élevée. Il est calculé ainsi par  $R^2 = (SCR/N-2)/(SCT/N-1)$ . Tandis que pour juger le degré de corrélation existant entre les deux facteurs ou variables, on calcule le coefficient de corrélation noté par  $r$  (qui varie entre -1 et +1) suivant la formule:

$$r = \frac{n\sum XY - (\sum X\sum Y)}{\sqrt{n\sum X^2 - (\sum X)^2} \sqrt{n\sum Y^2 - (\sum Y)^2}}$$

$X$ : taux de change du franc congolais par rapport au dollar (USD).

$Y$ : prix élémentaire

$n$ : nombre d'observations

SCR: somme de carré résiduel

SCT: somme de carré total

$N$ : effectif

### Test de signification d'ensemble de la régression (test de corrélation)

Il a été réalisé pour vérifier la signification des paramètres de droite de régression. Le critère de décision est d'accepter  $H_1$ , si  $p$ -value < 0,05. Le rapport critique a été observé puis comparé au  $r$  de Bravais Pearson de test de corrélation au seuil de 5% pour la moyenne annuelle des prix de produits carnés de base.

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats ont porté sur l'analyse évolutive des prix à la consommation et du taux de change, calcul des indices de prix et de taux de change, l'estimation des coefficients d'élasticité et la présentation de la corrélation simple pour chaque produit sous étude.

### Analyse évolutive des prix à la consommation et du taux de change

#### Tendance générale de prix de produits carnés étudiés en franc congolais

La tendance des prix a été généralement discordante (Figure 1). Les causes de ce renchérissement des prix sont multiples. Mais les plus importantes sont:

- *L'effet-coût*: les producteurs et intermédiaires œuvrant dans le sous-secteur des produits carnés répercutent sur le prix de vente l'augmentation des coûts des biens et services nécessaires à la production et à la commercialisation le rendant ainsi élevé,
- *L'effet-demande*: la ville de Kisangani est une ville cosmopolite avec plus de 2 352 000 habitants (Tongba, 2017). Il s'observe alors une demande très élevée des produits carnés par rapport à l'offre. Cette incapacité de la quantité offerte à satisfaire la demande est expliquée par des quantités produites insuffisantes suite à des conditions de travail peu recommandables.

Ce constat est similaire aux pays de l'Afrique de l'Ouest et plus particulièrement la Côte d'Ivoire. Au cours de la période allant de 2009 à 2016, on a remarqué que le pays a connu la flambée des prix (4,9%) consécutive à la crise post-électorale avec la hausse généralisée des prix des produits alimentaires et des boissons non alcoolisées (+10,4%), des restaurants et Hôtels (+8,1%), (INS, 2017). Les mêmes faits sont observés par le rapport de SMAR (2018), pour les produits céréaliers. Ce rapport dénote que les prix internationaux du blé et du maïs ont globalement augmenté, en raison de préoccupations quant aux conditions météorologiques dans les principaux pays producteurs et de la vigueur de échanges. Les prix internationaux du riz ont également augmenté sous l'effet d'un regain de la demande d'importation en Asie. Cette état de chose impacte l'économie de pays en voie de développement, en détruisant la valeur de revenu et de l'épargne et pénalise tout particulièrement les ménages qui ont un revenu fixe (Galtier, 2011).

### Tendance générale de taux de change en USD

Le taux de change a connu une progression croissante d'une année à une autre dans la série temporelle (Figure 2). En effet, cette dévaluation de la monnaie a été fonction de plusieurs facteurs tels que l'incohérence des politiques macro-économiques (politiques budgétaire et monétaire), la production de biens et services, l'exportation et la sécurité sociale. Ce constat est devenu structurel en RDC.

Malgré les interventions de la Banque Centrale du Congo, les observations faites sur l'ensemble des provinces montrent une dépréciation progressive du franc congolais face au dollar américain sur le marché de change (FAO, 2009).

Selon un sondage d'opinion réalisé par l'agence catholique DIA, les habitants de Kinshasa sont de plus en plus inquiets de la poursuite de la dépréciation de la monnaie locale, le franc congolais. Ils mettent en cause toutes les dernières stratégies développées par la Banque Centrale du Congo, afin que l'ajustement puisse jouer en faveur du Franc congolais, notamment les opérations d'adjudication. L'étude révèle que beaucoup de Kinois, y compris la

presse locale, commencent à penser qu'il n'y a pas assez de volonté au niveau du Gouvernement pour maîtriser les différents paramètres qui concourent à la maîtrise de la situation monétaire (FAO, 2007).

En outre, en RDC la dépréciation du franc congolais fragilise le marché des biens et services car le pays étant un importateur net de ces derniers. Ces résultats s'accordent avec ceux obtenu en Chine où le taux de change joue aussi un rôle dans la formation des anticipations d'inflation et possède un impact très significatif sur l'inflation (Guerineau et Guillaumont, 2003). Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que le pays étant caractérisé par un niveau élevé de dollarisation, la dépréciation du franc congolais face au dollar amène les agents à se dessaisir de la monnaie nationale au profit de la devise, plus précisément le dollar américain, pour préserver un minimum de pouvoir d'achat surtout que le panier de calcul de l'indice des prix à la consommation est essentiellement constitué par les biens et services importés. Il s'en suit que les anticipations à la hausse de la demande des devises accélèrent la dépréciation de la monnaie nationale.

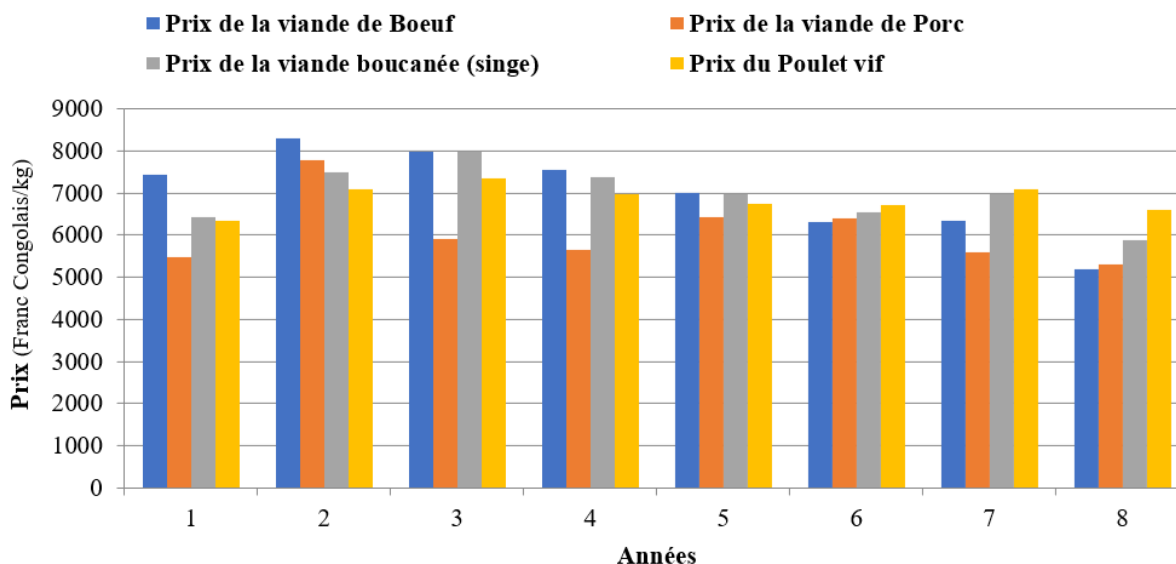


Figure 1: Tendance générale de prix de la viande de bœuf, viande de Porc, viande boucanée (de singe) et de poulet vif en franc congolais

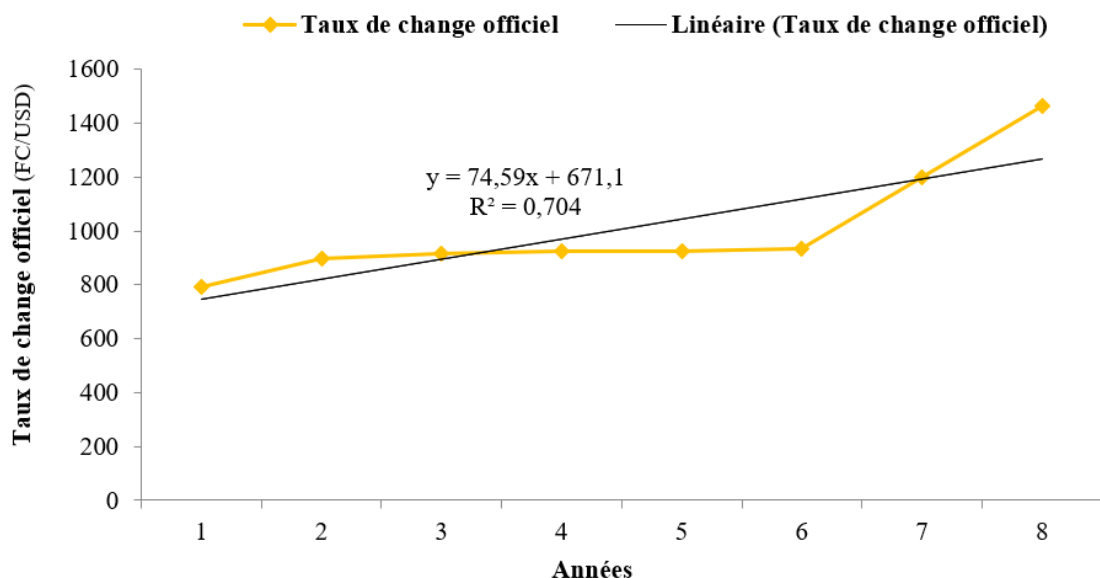


Figure 2: Tendance générale du taux de change en USD

### Évolution comparée de l'indice simple de prix des produits et de l'indice simple du taux de change

Les variations de l'indice du prix alimentaire des différents produits considérés (viande de bœuf, viande de Porc, viande boucanée et de poulet vif) en glissement annuel ont connu quasiment une même allure dans la série chronologique (Tableau 1). La variation de l'indice de prix des produits a été généralement positive pour le poulet vif, viande de porc et la viande boucanée sauf à l'année 2017 où l'indice s'est révélé négatif de l'ordre de 8,68 et 3,51 respectivement pour la viande boucanée (de singe) et la viande de Porc. Néanmoins, la variation de l'indice de prix de la viande de bœuf est tantôt à la hausse tantôt à la baisse dans la série temporelle. De 2011-2013, l'indice a connu un accroissement de l'ordre de 11,5; 7,18 et 1,57 et une réduction s'en est suivie c'est-à-dire une diminution des prix de la viande de bœuf de l'ordre de 5,85; 15,4; 14,9; 30,3; ceci peut s'expliquer par un phénomène récent d'abattage clandestin des bovins soi-disant des «Mbororo». En revanche, l'indice du taux de change (franc congolais/USD) a suivi en général une augmentation d'abord douce puis brusque ou de façon exponentielle, avec un minimum de 13,1; un maximum de 84,6 et un écart type de 27,2 et jamais négatif au cours de la série. Toutefois, entre 2013-2014 les indices simples de taux de change ont connu une légère stagnation. L'augmentation brusque constatée aux deux dernières années de notre période d'étude peut s'expliquer non seulement par les facteurs macro-économiques, mais aussi et surtout par les turbulences politiques de fin de mandat du président Kabila et soubresauts des élections présidentielles, législatives nationales et provinciales. Quant aux produits agricoles, Yalombe *et al.* (2018), a remarqué que durant la même période les prix de maïs et le riz variaient de manière proportionnelle avec le taux de change de l'ordre de 88,9% suite au régime monétaire flottant qui a caractérisé le système économique du pays.

Gagnon et Ihrig (2004) constatent que l'incidence des variations du taux de change sur les prix dépend en parti de facteurs macro-économiques. En particulier, la rigidité des prix qui s'expliquent par les coûts que leur ajustement entraîne pour les entreprises et l'ajustement lent des prix des produits peuvent rendre les prix intérieurs moins réactifs aux mouvements des taux de change. Dans ce cas, la répercussion des variations du taux de change aux prix est retardée, mais elle n'est pas nécessairement incomplète.

### L'approche d'élasticité taux de change-prix

Applicables dans le cas des variations significatives de prix, comme c'est le cas pour les produits échantillonnés, l'approche d'élasticité taux de change-prix a permis de vérifier empiriquement l'effet de la dépréciation du taux de change sur les prix des produits carnés.

Les prix se sont révélés quasiment élastiques par rapport au taux de change dans la série temporelle. Cela s'observe pendant l'année 2014 pour la viande de bœuf; 2010 et 2011 pour la viande de Porc; 2010, 2011, 2012, et 2014 pour celle boucanée (de singe) et 2010, 2012, 2014 pour le poulet vif. En ces points, une augmentation du taux de change de 1% a entraîné un accroissement du prix de plus de 1%. En effet, globalement les coefficients d'élasticités en 2013, 2015 et 2017 indiquent que les prix sont inélastiques c'est-à-dire que le changement en pourcentage du prix est inférieur au changement en pourcentage du taux de change.

Ces points supposent qu'une augmentation du taux de change de 1% a été traduite par une diminution de prix de moins de 1%. Ce résultat confirme ceux trouvés par Gaulier *et al.*, (2008) et Akitoby (1997). Selon ces auteurs, la dépréciation de 1% du taux de change entraîne une augmentation de moins de 1% de l'indice des prix de produits locaux.

Quant à ce qui concerne les années, 2010, 2011 et 2016 pour la viande de bœuf; 2016 pour la viande boucanée; 2011 et 2016 pour le poulet vif, les prix se manifestent inélastiques.

**Tableau 1: Évolution comparée de l'indice simple de prix des produits et de l'indice simple du taux de change**

Année	Variation de l'indice de prix de viande de bœuf (en %)	Variation de l'indice de prix de viande de porc (en %)	Variation de l'indice de prix de viande boucanée (en %)	Variation de l'indice de prix de poulet vif (en %)	Variation de l'indice de taux de change (en %)
2011	11,5	41,8	16,5	11,4	13,1
2012	7,18	7,54	24,3	15,6	15,3
2013	1,57	3,24	14,8	9,88	16,8
2014	-5,85	16,9	8,37	6,36	16,6
2015	-15,4	16,5	1,77	5,71	17,6
2016	-14,9	1,87	8,43	11,7	51,3
2017	-30,3	-3,51	-8,68	4,02	84,6

**Tableau 2: Coefficients d'élasticités taux de change prix de viande de bœuf, viande de Porc, viande boucanée (singe) et de poulet vif**

Année	coeff. Viande de bœuf	coeff. Viande de Porc	coeff. Viande boucanée	coeff. Poulet vif
2010	0,94	2,84	1,82	5,01
2011	0,44	3,17	1,25	0,86
2012	-2,00	-12,5	3,47	1,93
2013	-4,24	-3,23	-6,21	-3,99
2014	62,9	-113,6	48,0	27,6
2015	-12,6	-0,38	-7,57	-0,75
2016	0,02	-0,43	0,22	0,19
2017	-0,82	-0,24	-0,71	-0,31

### Estimation des modèles

Les modèles sont estimés pour chaque produit pris isolément. Sur ce, un modèle de régression simple mettant en relation les prix pour la viande de bœuf, viande de porc, viande boucanée (de singe), poulet vif et de taux de change nominal de franc congolais par rapport au USD a été construit.

Le niveau de corrélation existant entre le taux de change en USD et le prix de la viande de bœuf en franc congolais est démontré sur la figure 3. A l'issue de l'analyse, il s'est observé que le taux de change explique à 67,3% le prix de la viande de bœuf. Le coefficient de corrélation a révélé qu'il existe un lien positif entre le prix de la viande de bœuf et le taux de change à 82,0%.

En revanche, le résultat de l'analyse du niveau de corrélation existant entre le taux de change en USD et le prix de la viande de porc en franc congolais a montré que le taux de change explique à 22,5% le prix de la viande de Porc. Le coefficient de corrélation laisse constater qu'il existe un lien entre le prix de la viande de Porc et le taux de change à 47,4% (Figure 4).

Cependant, le taux de change explique à 49,5% le prix du Poulet vif. Par ailleurs, le coefficient de corrélation a révélé qu'il existe un lien entre le prix du poulet vif et le taux de change à 70,3% (Figure 5). L'analyse issue de la figure 6 montre la corrélation entre le taux de change et le prix de la viande boucanée (de singe). Le taux de change a expliqué à 53,6% le prix de la viande boucanée. En plus, le coefficient de corrélation a montré qu'il existe un lien entre le prix de la viande boucanée et le taux de change à 73,2%.

Par ailleurs, il découle du résultat de la corrélation entre le taux de change et les prix moyens annuels de produits carnés (Figure 7) que le taux de change explique à 55,5% les prix moyens annuels de produits carnés. Cependant, il s'observe à 74,5 % un lien de causalité entre les prix moyens annuels de produits carnés et le taux de change. Ces résultats vont dans le même sens avec ceux trouvé par Kamara *et al.*, (2021), pour les produits vivriers de base (farine de manioc, de maïs, banane plantain et riz blanc) qui montrent une corrélation positive avec un coefficient de corrélation de l'ordre de 84,8%. Cette situation obéit à la théorie de l'équilibre global. D'après cette théorie, les prix moyens de produits carnés varient proportionnellement avec le taux de change et cela de deux manières: lorsque la demande de ces produits est plus élevée que celle de devise, la faible variation du taux de change entraîne une forte fluctuation du prix de ces denrées alimentaires. Tandis que lorsque l'offre de produits carnés est abondante et que la demande de la devise est plus élevée et la forte variation du taux de change n'engendre qu'une faible fluctuation du prix moyens de produits carnés (Bales, 2012).

### CONCLUSION

La dépréciation monétaire qualifie la baisse de la valeur d'une monnaie par rapport à une ou plusieurs autres monnaies. La présente étude a eu pour but général d'évaluer l'incidence de la dépréciation du franc congolais par rapport au dollar américain sur les prix de denrées alimentaires, spécialement les produits carnés disponibles dans le marché de Kisangani.

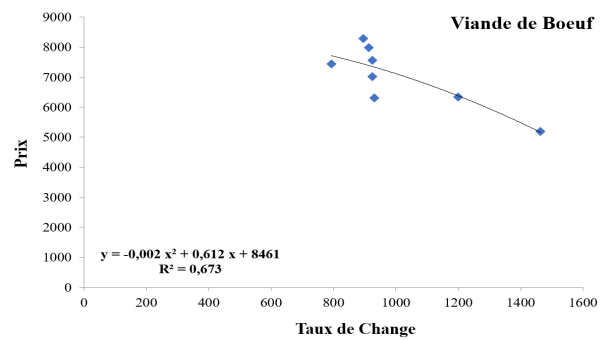


Figure 3: Corrélation entre taux de change et le prix de la viande de bœuf

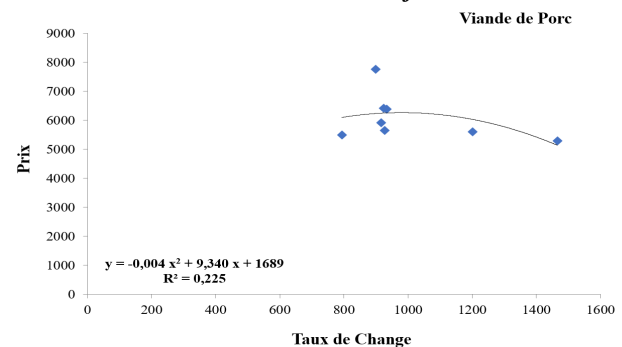


Figure 4: Corrélation entre taux de change et prix de la viande de Porc

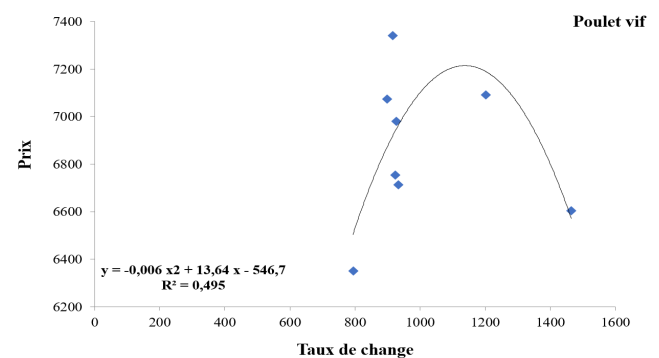


Figure 5 : Corrélation entre taux de change et le prix de Poulet vif

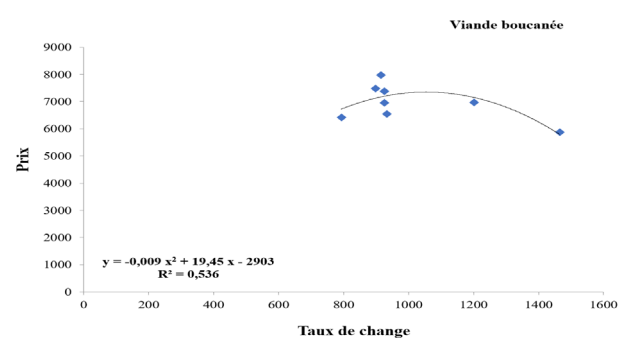


Figure 6: Corrélation entre taux de change et le prix de viande boucanée

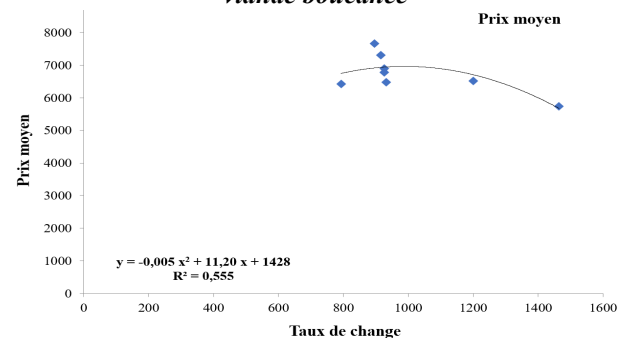


Figure 7: Corrélation entre taux de change et prix moyens annuels de produits carnés

La collecte et l'analyse des données ont été réalisées grâce à la technique documentaire et l'analyse de série chronologique.

Les résultats ont montré que les indices des prix de produits carnés à l'occurrence la viande de bœuf, de porc, viande boucanée (de singe) et poulet vif sont globalement à la hausse dans la série temporelle. Cependant, l'indice du taux de change (franc congolais/USD) a suivi en général une augmentation de façon exponentielle. Concernant les élasticités, les prix se sont révélés quasiment élastiques par rapport au taux de change dans la série chronologique. L'analyse des résultats des coefficients de la droite de régression simple nous a révélé l'existence d'une corrélation significative entre le cours de change et les prix moyens de produits étudiés de l'ordre de 74,5%.

Eu égard à ce qui précède, il est important de souligner que la situation de prix mérite une attention particulière de la part de autorités monétaires en RDC, afin de pallier à la volatilité de ce dernier et ainsi maintenir le pouvoir d'achat de la monnaie nationale.

## RÉFÉRENCES

- Akitoby B. (1997). Étude de l'efficacité de la dévaluation du Franc CFA au Bénin. Centre de Recherche et Développement Économique et Département en Sciences Économiques. Cahier 0597, Université de Montréal, 18 p.
- Anonyme (2017). Cadre de gestion environnementale et sociale (CGES). Projet de développement urbain (financement additionnel), Ministère de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme et de l'habitat. République Démocratique du Congo. SFG3110, 104 p.
- Banque mondiale (2015). Renforcer la résilience de long terme de la RDC: Le rôle de la dédollarisation, de la prospection artisanale et de la diversification économique. Rapport de Suivi de la Situation Économique et Financière – Troisième Edition, 64 p.
- Bialès C. (2012). Modélisation schématiques de l'équilibre macroéconomique. 153 p, www.christian-biales.net.
- Bolakonga B. (2013). Influence de l'enclavement sur le développement rural (Cas du territoire d'Opala, District de la Tshopo, RD Congo). Thèse de Doctorat, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech.
- Campbell R., Connell M., Stanley B., Ginette T. (1994). Économie globale. Québec, 569 p.
- Coeurjolly JF. (2010). Indices élémentaire et synthétiques. Laboratoire Jean Kuntzmann (LJK), Grenoble University, cours, 51 p.
- Darpoux R., Roussel M. (1972). Marché et prix agricoles, JB. Baillière, Paris, 242 p.
- De Schutter O. (2009). The meatification of diets and global food security. Special reporter on the right to Food. European Parliament. Oxfam Novib Conference, La Haye, 4 p.
- DFAE (2016). Rapport économique annuel 2016. Kinshasa, 13 p.
- FAO (2007). La hausse des prix alimentaires: causes et conséquences. 11 p.
- FAO (2009). Point sur le prix des denrées alimentaires en RDC. Coordination des Opérations Agricoles d'Urgence et de Réhabilitation FAO en RDC. No 17, 4 p.
- Gagnon JA., Ihrig J. (2004). Monetary policy and exchange rate pass-through, Discussion financière Internationale, document de travail n° 704.
- Galtier F. (2011). What can the international community do to help developing countries manage food price instability? CIRAD-UMR MOISA, 9 p.
- Guerineau S., Guillaumont J. S. (2003). Politique de change et inflation en Chine. *Revue d'économie politique*, 113:199-232.
- Gaulier G., Lahèche-Révil A., Méjean I. (2008). Exchange-rate pass-through at the product level. *Canadian Journal of Economics/Revue canadienne d'économique*, 41: 425-449.
- Granwitz M. (2002). Lexique des sciences sociales, Paris, Dalloz, 7<sup>ème</sup> édition.
- Hebel P., Fauconnier N., Morgane D. (2005). La nouvelle sensibilité des consommateurs aux prix. *Cahier de recherche*, 215, 197 p.
- Houchmandzadeh B. (2011). Théorie d'Elasticité. Une approche variationnelle. <http://houchmandzadeh.net/cours/Ealsticity/elasticity.pdf>
- Hurlin C., Mignon V. (2015). Statistique et probabilités en Économie-gestion. Dunod, open book. 31p.
- Institut National de la Statistique/République de Côte d'Ivoire (2017). Que savoir sur l'inflation? En 5 Étapes. 8p.
- Kamara M., Salumu P.K., Jashopokwo C., Kabuita L.M., Lilala B.M. (2021). Incidence de la dépréciation du franc congolais sur la sécurité alimentaire des ménages. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 9:301-306.
- Mutombo D. (2018). Rapport sur la politique monétaire en 2017. Banque Centrale du Congo, 81 p.
- Ngonga N., Mususa U. (1998). La persistance de la dollarisation au Congo Kinshasa. Centre d'analyse et de perspectives économiques, IRES, Working paper, no 15.
- SMIAR (2018). Suivi et analyse de prix alimentaire, Rapport mensuel sur les tendances de prix alimentaires. Bulletin de suivi des prix alimentaires mondiaux, FAO, 10 p.
- Rakotomalala R. (2017). Analyse de corrélation. Étude de dépendances-Variationnelles, version 1.1. Université Lumière Lyon 2, 105 p.
- Tongba B. (2017). Annuaire statistique 2015. République Démocratique du Congo, Ministère du Plan. Banque Mondiale, INS. 584 p.
- Yalombe G., Katayi A., Muka P., Mbuyi C., Kabanga E. (2018). Incidence de la variation du taux de change sur la fluctuation des prix du maïs (*zea mays*) et du riz (*oryza sativa*) de 2004 à 2016) dans la ville de Mbuji-Mayi, en RD Congo. *International journal of Horticulture, Agriculture and Food science*, 2: 102-110.

# Impact économique et social des activités de l'Économie Sociale et Solidaire: Cas des coopératives laitières du Moyen Atlas

Najib TIROU<sup>1</sup>

(Reçu le 09/09/2022; Accepté le 02/10/2022)

## Résumé

La filière laitière, au Maroc, joue un rôle clé sur le plan économique que social. En favorisant l'inclusion économique des populations et plus particulièrement les femmes rurales à travers la promotion des activités de l'économie sociale et solidaire et de ses chaînes de valeurs. En s'alignant, d'une part, avec les recommandations du rapport du nouveau modèle de développement économique (NMD) et les objectifs du développement durable (ODD) de l'autre part, l'appui à l'approche chaîne de valeur agricole nécessite de prendre en compte de façon approfondie les dimensions économiques que sociale. L'objectif du présent article est d'explorer les impacts socio-économiques de la chaîne de valeur laitière par les acteurs impliqués dans les coopératives. Pour ce faire nous avons réalisé une étude empirique sur les coopératives du Moyen Atlas. Les résultats obtenus montrent que les activités de l'ESS et ses chaînes de valeurs laitières ont des effets socio-économiques positifs sur les acteurs impliqués et le développement de la région.

**Mots-clés:** Chaîne de valeur, activités de l'économie sociale et solidaire, impact socio-économique, Moyen atlas

## Economic and social impact of Social and Solidarity Economy activities: Case of dairy cooperatives in the Middle Atlas

### Abstract

The dairy sector in Morocco plays a key role both economically and socially. By promoting the economic inclusion of the population, particularly rural women, through the promotion of social and solidarity economy activities and value chains. By aligning with the recommendations of the New Economic Development Model (NMD) report and the Sustainable Development Goals (SDGs), support for the agricultural value chain approach requires a thorough consideration of both the economic and social dimensions. The objective of this article is to explore the socio-economic impacts of the dairy value chain by the actors involved in the cooperatives. To this end, we conducted an empirical study on cooperatives in the Middle Atlas. The results obtained show that the activities of the SSE and its dairy value chains have positive socio-economic effects on the actors involved and the development of the region.

**Keywords:** Value chain, social and solidarity economy activities, socio-economic impact, Middle Atlas

## INTRODUCTION

Dans un contexte marocain secoué par des crises diverses engendrant un taux de chômage alarmant, des disparités spatiales avec leur lot de pauvreté, un contexte où les inégalités entre hommes et femmes en matière d'accès à l'emploi sont déconcertantes. L'urgence est largement reconnue par l'État, les organisations non gouvernementales et par la société civile de trouver des solutions aux crises actuelles.

Ainsi pour faire face à ces défis, il s'avère important d'apporter un nouveau souffle à la croissance économique et de trouver un modèle de développement économique subsidiaire à l'économie de marché. L'économie sociale et solidaire comme l'ont montré les expériences semble être, par biens des aspects, la complémentaire (Chopart *et al*, 2006).

L'économie sociale désigne un courant de pensée qui s'est mis en place au XIX<sup>e</sup> siècle pour répondre à la question sociale irréductible à la réponse marxiste ou à la réponse libérale sous une approche associationniste (Fretel, 2008). En va-t-il de même pour le Maroc ?

Sans analyse de la définition inhérente de l'économie sociale et solidaire qui fera référence, il serait adéquat d'explorer comment ce concept a été appropriée au Maroc. Delà, on peut citer les travaux de Yahyaoui Yahya et Benatahr Hachmi (2003) qui se sont penchés à connaître l'existence et la formes de mise en pratique de l'économie sociale et solidaire. Selon eux, l'économie solidaire au Maroc a ses racines dans la Société marocaine depuis toujours. Elle a géré la société marocaine depuis bien longtemps car elle émane d'abord de la religion musulmane et de l'esprit de solidarité, aussi bien dans les familles que dans les tribus, surtout à la campagne.

Donc, L'économie solidaire au Maroc a ses racines dans la société marocaine depuis toujours. Elle a géré la société marocaine depuis bien longtemps car elle émane d'abord de la religion musulmane et de l'esprit de solidarité, aussi bien dans les familles que dans les tribus, surtout à la campagne.

En ce qui concerne les activités de l'économie sociale et solidaire, auparavant étaient illustrées par des microfinances au début des années 1990 sous l'impulsion d'une société civile active assistée par des ONG internationales. Aujourd'hui, elles apparaissent sous formes de dispositif d'insertion par l'activité économique (IAE) mis en place par l'État pour favoriser l'insertion économique des populations vulnérables.

Le 03 mai 1987, l'insertion par l'activité économique entrain sur «la scène politique par le petits boulots» (Eme et Laville, 1988). Face à une montée accrue du chômage, les associations intermédiaires étaient créées pour embaucher des personnes dépourvues d'emploi pour les mettre à disposition des utilisateurs. Trente ans plus tard, l'IAE devenait «une politique active d'emploi ayant pour objectif d'aider des personnes très éloignées de l'emploi à se réinsérer sur le marché du travail reconnue est institutionnalisée par les pouvoirs publics et inscrite dans le champ de l'ESS» (Rémy, 2016).

Au Maroc, l'IAE a été apparue sous forme des activités génératrices de revenus avec la création de l'Agence de Développement Social (ADS) en 1999 sous le soutien de la banque mondiale ainsi qu'elles ont fortement expansé avec le lancement de l'INDH en 2005.

Avec la nouvelle stratégie de l'Initiative Nationale Pour le Développement Humain, elles ont été introduites, en 2019, dans un programme intégré dans le cadre de la

<sup>1</sup> Institut National de l'Action Sociale, Tanger, Maroc

Phase III intitulé «Amélioration du revenu et inclusion économique des jeunes» et ayant pour objectif de favoriser l'innovation et de renforcer la viabilité et l'impact des projets générateurs de revenus notamment avec une approche articulée autour des chaînes de valeurs et filières. Ces innovations concrètes sont conçues par des acteurs cherchant à résoudre un problème social particulier. Bien évidemment tous les problèmes n'ont pas trouvé de réponse, mais cette vague massive d'innovation a produit un ensemble impressionnant de solutions qui fonctionnent (Kayser et Budinich, 2016). D'où les questions cadres de notre article: Dans quelle mesure les activités de l'ESS et ses chaînes de valeurs sont-elles rentables et durables des acteurs impliqués ? Favorisent-elles en pratique l'égalité des genres ? Pour répondre à ces questions, nous mènerons une étude qualitative auprès des responsables, présidents et coopérateurs de 10 coopératives laitières dans le pied du Moyen atlas. Pour ce faire, nous structurerons notre étude sur trois points essentiels. Dans un premier temps, nous présenterons le cadre conceptuel des activités de l'ESS et des chaînes de valeurs. Dans un second temps, nous exposerons notre méthodologie de recherche. Nous concluons cette étude par la présentation des résultats de notre étude; une conclusion générale et quelques pistes de réflexions.

## ACTIVITÉS DE L'ÉCONOMIE SOCIALE ET SOLIDAIRE

Afin de limiter le champ de notre travail de recherche, il s'avère primordial, dans un premier temps, de s'interroger en effet sur l'émergence des deux concepts. Et de définir termes de base de cette recherche notamment: les activités de l'ESS et les chaînes de valeurs, dans un deuxième temps.

### Aperçu historique de l'ESS au niveau international

Comme mode de faire autrement l'économie et complémentaire à l'économie de marché, l'économie sociale trouve ses racines au niveau mondial dès le Moyen Age où guildes, confréries, jurandes, corporations et compagnonnage constituent autant de formes d'organisation sociale préfigurant ce que seront plus tard les organisations de l'économie sociale. Placées en général sous le patronage d'un saint, guildes et confréries ont une vocation essentiellement charitable, se donnant pour mission de porter secours aux membres d'un métier en cas de maladie ou de décès (Bidet, 1997). Après, avec le socialisme utopique courant de pensée représenté par plusieurs penseurs, à savoir; Saint Simon qui propose, en opposition au libéralisme, un système industriel ayant pour objet direct et unique de procurer à plus grande somme de bien-être possible, du bonheur social à la classe laborieuse et productrice et dans lequel il confère à l'État un rôle redistributeur (Bidet, 1997). Charles Fourier qui s'est efforcé de recréer un milieu exemplaire le «phalanstère» dans lequel l'homme pourra se développer harmonieusement et où la répartition

des biens se fait selon le travail, le capital et le talent dans lequel l'association occupe une place centrale. Ces phalanstères, décrits avec une plus que minutieuse précision pour ce qui relève de leur implantation géographique, de leur forme architecturale et de leur composition sociologique, sont des bâtiments en forme d'étoile. Ils contiennent espaces sacrés, commerciaux et domestiques, organisés de manière collective. Chaque phalanstère compte un nombre n de phalanstériens réunis par leurs passions communes (Damon, 2005). Sans oublier, le célèbre Proudhon précurseurs du système mutualiste et coopératif (Figure 1).

Dans les années 1980, certains théoriciens substituent le terme solidaire à celui de social, ce qui crée une profonde scission au sein de la théorie: «l'économie solidaire» se soucie de mieux prendre en compte les exclus du marché du travail, de la société et de combler des attentes spécifiques comme le service aux personnes ou encore le développement d'une proximité locale (Swaton, 2011). Inspiré, des fameuses «Équitables pionniers Rochdale» premier modèle coopératif en Angleterre en 1844. Une expérience qui a débuté par la constitution d'une coopérative tout en se basant sur un ensemble de principes tels que: égalité et contrôle démocratique (un homme, une voix), liberté d'adhésion, répartition des excédents au prorata des activités de chaque membre.

Un troisième courant, à côté de celui de l'«économie sociale» et de l'«économie solidaire» se revendique comme appartenant à l'«économie alternative». L'économie alternative s'inscrit dans une tradition de projet alternatif et de rejet institutionnel et trouve son ancrage contemporain dans la démarche des communautés de travail de l'après-guerre et des communautés néo-rurales du début des années 70 (Draperi, 2007).

Historiquement et conceptuellement, le terme d'économie sociale et solidaire n'a pas la même signification aux États-Unis qu'en Europe. Il reste un concept vague pour les premiers, conçu pour répondre aux dérives du marché et comme une activité à certaines entreprises capitalistes qui exploitent des opportunités pour servir une mission sociale. La valeur économique créée à travers des activités commerciales développées est considérée comme une stratégie permettant à l'entreprise de dégager des ressources financières nécessaires à la durabilité de sa mission sociale. Tel est le sens du terme «retour social sur investissement». Ashoka, initié par Bill Drayton en est une illustration concrète. En Europe, au contraire, le terme économie sociale et solidaire ne relève pas de la philanthropie, mais il est composé d'organisations sociales ayant des statuts précis: ce sont des organisations à but non lucratif, basées sur le principe démocratique «un homme, une voix», autonomes et s'appuyant sur une dimension altruiste de l'homme motivée par un partage de valeurs communes avec un objectif d'épanouissement plutôt que d'enrichissement.

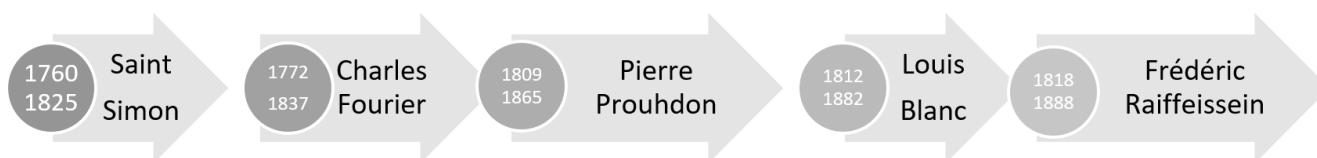


Figure 1: Chronogramme historique des pères fondateurs de l'économie sociale au niveau international

## Émergence de l'ESS au Maroc

L'économie solidaire au Maroc a ses racines dans la Société marocaine depuis toujours. Elle a géré la société marocaine depuis bien longtemps car elle émane d'abord de la religion musulmane et de l'esprit de solidarité, aussi bien dans les familles que dans les tribus, surtout à la compagne (Yahyaoui et Bentahar, 2003).

Certes, les acteurs de l'ESS n'ont vu le jour qu'en période de libéralisation (1958-1973) avec l'émergence des associations selon le Dahir Royal du 15 novembre 1958 (Yahyaoui et Bentahar, 2003).

Quant aux activités de l'économie sociale et solidaire dans notre pays, elles recouvrent un champs d'activité très large, à savoir; l'action sociale, la microfinance, le commerce équitable, et les activités génératrices de revenus.

Nul sans doute, de bon nombre des programmes et des stratégies élaborées de la part de l'État dans ce contexte; les grandes orientations d'une politique publique de l'ESS (Stratégie ESS 2010-2018), la mise en place d'une commission ad-hoc pour la mise en œuvre d'une loi-cadre ESS et l'intégration de l'ESS dans parcours de formation (CESE, 2015). De plus la nouvelle stratégie lancée ESS (2018 - 2028).

Certes, en consultant les chiffres clés se rapportant à l'ESS malgré bien évidemment la complexité d'accès à l'information vu l'abondance des travaux de recherche et études dans cet axe, les activités de l'économie sociale et solidaire dévoilent un énorme besoin de promotion, de valorisation et de soutien.

A cet effet, et dans le cadre de favoriser l'inclusion économique des populations l'INDH dans sa troisième phase (2019–2023) a lancé un programme national au niveau de toutes les Divisions de l'Action Sociale dans les 75 préfectures et provinces du Royaume. «Amélioration du revenu et inclusion économique des jeunes», est un programme qui vise à contribuer à l'amélioration de la situation socio-économique des populations défavorisées via les activités de l'économie sociale et solidaire et ses chaînes de valeurs.

## CHAÎNE DE VALEUR (CDV)

### Définition

Le concept de chaîne de valeur est né, au moins dans son acception la plus courante en management stratégique, au milieu des années 1980 sous la plume de M. Porter. Il lui permettait de dépasser une simple analyse en termes d'environnement concurrentiel pour s'intéresser à la manière dont une entreprise pouvait capter une partie de la valeur créée par ses activités et dégager une marge par rapport aux coûts engendrés par ces dernières (Corbel, 2013).

Une chaîne de valeur CDV est un ensemble des activités devant concourir harmonieusement à produire et à vendre un produit en permettant aux intervenants à tous les niveaux d'en tirer les meilleurs bénéfices possibles. Les termes sont aussi souvent utilisés différemment, d'une manière où «filière» est utilisée de façon plus globale et «chaîne de valeur» est définie de façon plus spécifique.

Ce sont des canaux majeurs du développement local, du fait qu'elles concourent à créer de la valeur économique en termes d'emploi au niveau territorial. Elles constituent un cadre d'engagement avec les entités formelles (coopératives, groupement d'intérêt économique, associations) aussi bien que informelles (jeunes chômeurs, femmes victime de violence et toutes personnes en situation difficile).

Au Maroc, elles ont été apparues dans une approche d'appui au développement économique sous le soutien des ONG, GIZ à titre d'exemple, ainsi qu'elles ont fortement expansé avec le lancement du programme 3 de l'INDH-III en 2019.

### Analyse de la chaîne de valeur

L'Analyse de la CDV est un processus qui permet de comprendre les principaux impacts et d'identifier à quelles étapes de la chaîne et pour quels acteurs, investir et apporter un soutien adéquat serait bénéfique, éliminerait les inconvénients et les contraintes et promouvrait la durabilité et l'inclusion.

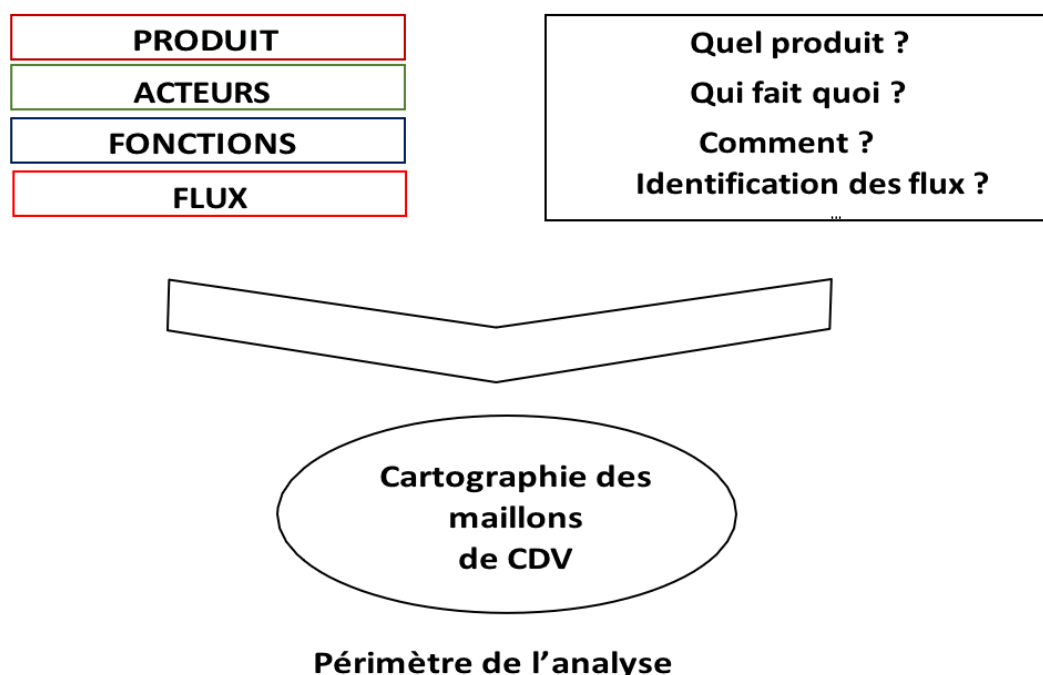


Figure 2: Analyse fonctionnelle de la CDV (adaptée des travaux de Pierre Fabre, Marie-Hélène Dabat et Olimpia Orlandoni, 2021)



Elle constitue un cadre conceptuel de cartographie et de catégorisation des processus économiques. Elle permet d'identifier les défis et les opportunités, ainsi que les points de levier auxquels les actions d'amélioration peuvent atteindre l'impact le plus élevé. En agriculture par exemple, une telle analyse étudie les liens entre les agriculteurs, les commerçants et les producteurs de produits agro-alimentaires, les détaillants et les consommateurs finaux (Arrahmouni *et al.*, 2018).

L'analyse CDV porte sur trois composantes essentielles, à savoir ; une analyse fonctionnelle, une analyse économique et une analyse sociale. L'analyse fonctionnelle de la chaîne de valeur n'est pas un concept nouveau. Néanmoins, il y a quelques indicateurs qui distinguent l'analyse socio-économique des autres approches.

L'analyse fonctionnelle permet de dresser un état des lieux en dévoilant les points faibles du produit, les acteurs impliqués directement, les maillons de la chaîne, les flux et les fonctions. Elle vous permet d'avoir une compréhension générale cartographique du fonctionnement de la CDV (Figure 2).

L'analyse économique, quant à elle, vise à mesurer la rentabilité, la durabilité et l'inclusivité des actions pour tous les acteurs de la CDV. Son objectif global est de renseigner sur les impacts économiques de CDV au sein de l'économie locale en matière de croissance économique, de rentabilité financière des acteurs et de distribution des excédents (Figure 3).

L'analyse sociale se focalise sur les conséquences de la CDV sur la population concernée et les acteurs impliqués directs au travers les conditions de travail, l'égalité des genres et le respect des droits.

**MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE**

L'économie sociale et solidaire est un ensemble des activités qui, par définition, constitue un remède aux maux sociaux et économiques qui ne sont pas résolus de manière adéquate par le marché (Swaton, 2011). Les activités relevant de l'Économie Sociale et Solidaire (ESS) nous semblent en mesure de contribuer activement à l'amélioration de la situation économique et sociale des territoires ruraux. Pour être bien comprise, cette contribution doit être envisagée à la lumière des constats énoncés depuis quelques années, tant au niveau européen que mondial, à propos du développement rural. Les avis convergent vers l'idée que les politiques rurales doivent abandonner leur logique sectorielle pour s'orienter vers une action d'envergure territoriale visant à exploiter les potentialités locales.

Ces politiques doivent être transversales et considérer une grande diversité d'activités (valorisation des ressources naturelles et culturelles, tourisme, santé, etc.). L'apport de l'ESS aux territoires ruraux apparaît alors envisageable en considérant sa capacité à répondre aux besoins des populations rurales et aux impératifs du développement économique des territoires (Peraldi et Rombaldi, 2009).

Ainsi, au Maroc, nous pourrions nous attendre à une présence accentuée des activités de l'ESS dans les zones rurales défavorisées. À cet égard, le pied du Moyen atlas constitue un terrain de recherche adapté à notre problématique de recherche. Les premières initiatives d'ESS au Moyen atlas ont démarré en 1999 avec l'Agence de Développement Social (ADS) avec le développement des petits projets en faveur des populations vulnérables sous forme d'Activités Génératrices de Revenus Économique (AGRE).

Certes, malgré les efforts indéniables de l'INDH, l'ADS et les ONG dans ce contexte. Les résultats obtenus restent en deçà des objectifs escomptés.

**Les activités de l'ESS et ses chaînes de valeurs laitières en milieu rural de Séfrou**

Notre choix a porté sur des coopératives qui commercialisent les produits laitiers au Moyen atlas du Maroc pour répondre à notre question de recherche. La filière laitière joue un rôle très important aussi bien aux plans économique, social que nutritionnel. Elle contribue ainsi à la garantie de la sécurité alimentaire du pays puisque près de 96% de la demande des citoyens en lait et produits laitiers se trouve parfaitement satisfaite. Le développement de la filière lait a permis de générer 48.7 millions de journées de travail, et ce tout au long de la chaîne de valeur, essentiellement à l'aval (Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, du Développement Rural et des Eaux et Forêts, 2019).

Dans la région Fès Meknès, plus précisément dans la province de Séfrou, nous avons menés notre étude, où la CDV laitière a un sacré impact sur la main d'œuvre locale et sur l'économie de la région, la province est classée en deuxième position au niveau régional en production laitière, avec une production de 18 000 tonnes de lait annuellement (Direction Provinciale d'Agriculture, 2022).

**Méthodologie de collecte des données**

Nous avons opté pour une démarche qualitative étant donné son efficacité dans le cadre de recherches exploratoires (Charreire et Durieux, 1999). La présence recherche avait pour objectif de se focaliser sur les diverses contributions des chaînes de valeurs de l'économie sociale et solidaire, ce qui impliquait de notre point de vue un positionnement

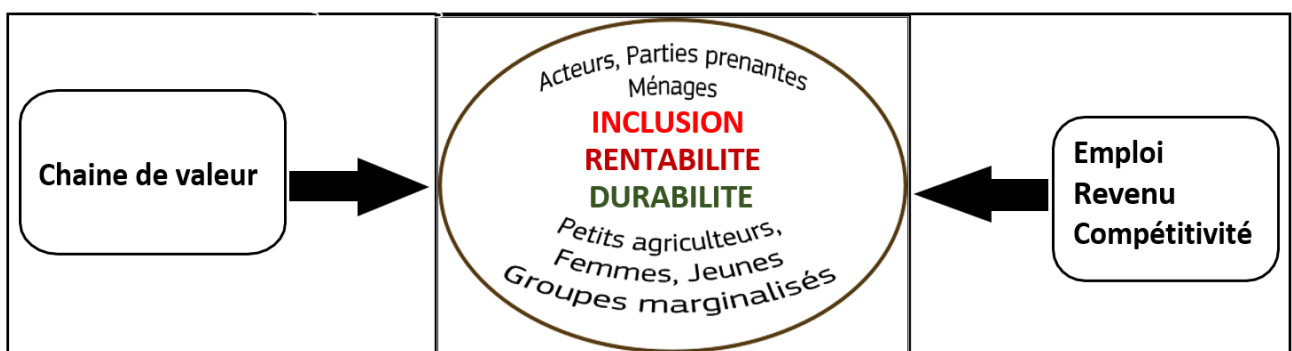


Figure 3: Analyse économique de la CDV (Inspiré des travaux de Pierre Fabre, Marie-Hélène Dabat et Olimpia Orlandoni, 2021)

scientifique donnant une interprétation en compréhension de l'ensemble étudiée (Bergouignan *et al.*, 2010). Ce point de vue compréhensif a conduit à mener une étude en termes de perception des acteurs impliqués dans la CDV étudiée. Sur cette base, nous avons adopté une méthodologie qui aboutira à la construction des outils capables de collecter des informations basées sur les pratiques des acteurs. Dans ce sens, la méthode de recueil utilisée dans notre étude est l'entretien semi-directif. Pour ce faire, nous avons élaboré un guide d'entretien qui contient les questions adressées aux présidents et adhérents des coopératives.

Les entretiens ont ciblé uniquement les acteurs des coopératives laitières (présidents et coopérateurs). Ainsi, des entretiens ont été menés face à face avec 10 présidents. Notre échantillon a porté sur des coopératives féminines aussi (Tableau 1).

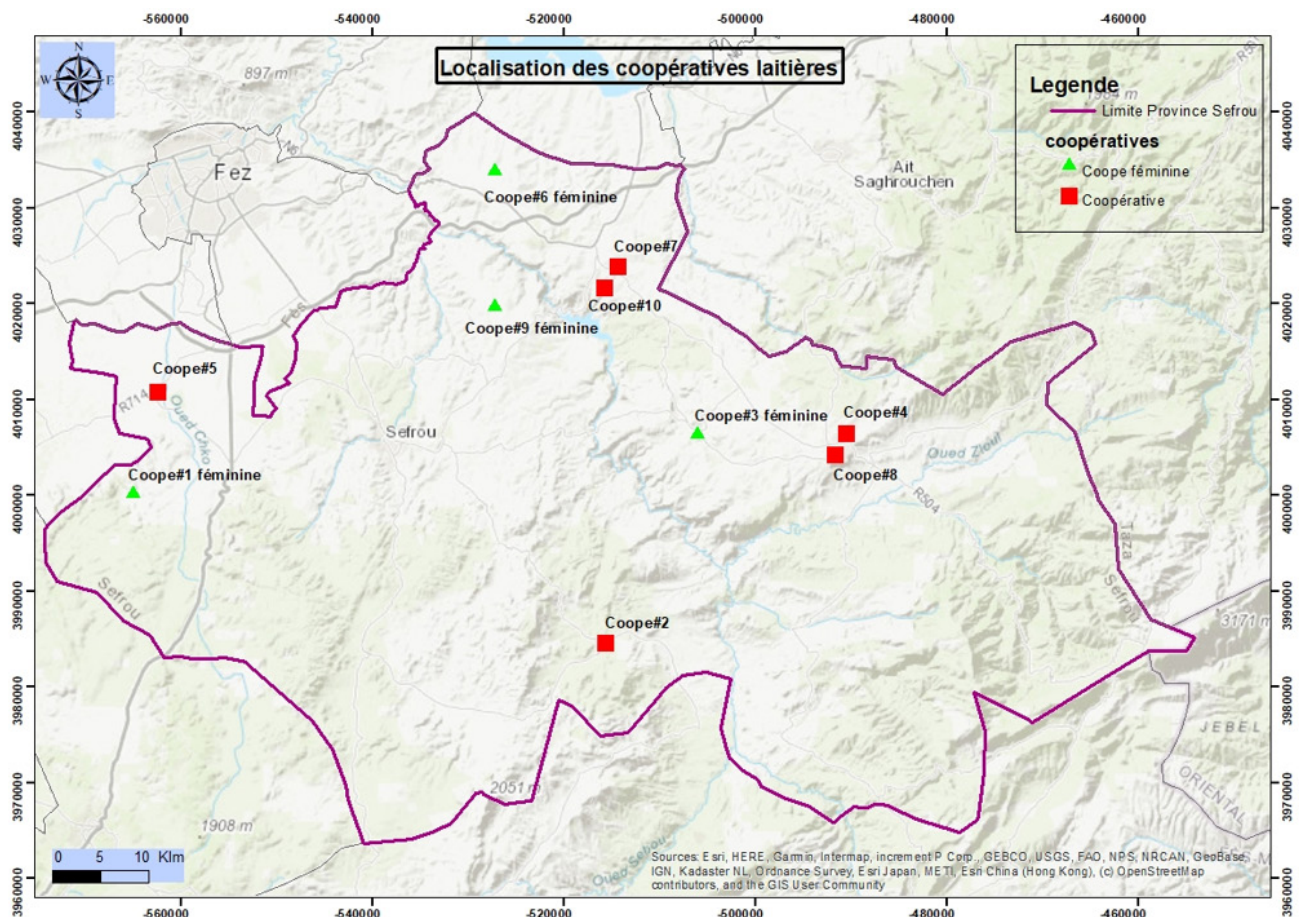
Dans les recherches qualitatives la taille de l'échantillon est justifiée par la recherche de la plus large diversité des réponses, et non par la seule représentativité statistique des individus (Patton, 2002). Toutes les coopératives enquêtées relèvent du milieu rural, des douars, de la province de Séfrou (Figure 4). La population dans ce milieu recouvre, en fait, des réalités complexes (habitat, accès aux services sociaux de base, infrastructure et voirie).

La collecte des données s'est effectuée à l'aide d'un guide d'entretiens décliné en 4 thèmes et 21 sous-thèmes.

S'agissant de la conduite des entretiens, nous avons formé l'enquêteur en suivant les consignes de Savenye et Robinson (1996) qui préconisent que le chercheur devrait enregistrer les entretiens dans leur totalité et de ne pas imposer ses propres perceptions et son interprétation des propos de la personne interrogée.

**Tableau 1: Caractéristique des coopératives enquêtées**

Interrogé(e)	Fonction	Coopérative	Dont Nombre de femmes	Milieu	Filière
#1	Président(e)	Coope#1 féminine	8	Rural	Laitière
#2	Président	Coope#2	10	Rural	Laitière
#3	Président (e)	Coope#3 féminine	17	Rural	Laitière
#4	Président	Coope#4	9	Rural	Laitière
#5	Président	Coope#5	6	Rural	Laitière
#6	Président(e)	Coope#6 féminine	11	Rural	Laitière
#7	Président	Coope#7	10	Rural	Laitière
#8	Président	Coope#8	7	Rural	Laitière
#9	Président(e)	Coope#9 féminine	25	Rural	Laitière
#10	Président	Coope#10	2	Rural	Laitière



**Figure 4: Carte de situation des coopératives laitières enquêtées**

## RÉSULTATS

Les résultats obtenus montrent que les activités d'ESS et ses chaînes de valeurs laitières ont des impacts positifs sur les adhérents et coopérateurs des coopératives. Ce qui émane de ces entretiens est une appréciation globalement positive des impacts socio-économiques des acteurs, parties prenantes et ménages. La totalité des interrogés nous ont énoncé qu'ils étaient engagés dans les CDV laitières dans un but de générer des excédents pour améliorer leur niveau de vie et participer collectivement dans le développement économique de leur propre territoire.

Afin de bien présenter lesdites résultats, nous allons dans un premier temps analyser les impacts économiques de la CDV laitière. Et dans un deuxième temps, nous allons nous concentrer sur les impacts sociaux de la CDV étudiée (Figure 5).

### Analyse économique de la CDV laitière

L'analyse économique a permis de montrer les impacts économiques de la CDV, à la fois, sur la population cible et sur l'économie locale. En ce qui concerne la population cible (coopérateurs et parties prenantes), les interrogés lors des entretiens ont mentionné 4 impacts.

**Impact-1: Amélioration du niveau de vie:** La quasi-totalité des interviewés ont exprimé clairement que «l'amélioration de leur niveau de vie» était le premier effet engendré du travail dans la CDV laitière. Aucun coopérateur n'a signalé que l'impact-1 n'a pas été acquis grâce à la CDV laitière. Les revenus se répartissent entre acteurs de la chaîne. Ces derniers ont une forte rentabilité dans les zones rurales et péri-urbaines.

**Impact-2: Création d'emploi:** À la suite de leur intégration dans les activités de l'économie sociale et solidaire et ses chaînes de valeurs laitières, les ménages issus du milieu rural de la province ont affirmé qu'ils se sentent plus exclus du marché du travail en revanche maintenant ils se sont insérés dans l'emploi. Et les CDV laitière leur ont permis d'assurer ce travail.

**Impact-3: Lutte contre pauvreté:** Les activités de l'économie sociale et solidaire et ses chaînes de valeurs ont également lutter contre la pauvreté dans les zones enclavées du Moyen atlas en créant des petites activités génératrices de revenus économiques au profit de la population locale.

**Impact-4: Réduction du chômage:** Rejoindre les CDV laitières selon les interrogés était un facteur primordial dans la réduction du chômage massif persistant encore dans le milieu rural surtout pour les jeunes et les femmes. Les Activités ESS ont favorisé l'inclusion des dites populations en participant dans la réduction du taux de chômage dans la région.

### Analyse sociale de la CDV laitière

L'analyse sociale se concentre sur l'évaluation des conséquences avérées et potentielles de la CDV sur les acteurs impliqués. Les impacts sociaux cités par les interrogés sont au nombre de 3, à savoir ; travail décent, égalité des genres et autonomisation.

**Impact-5: Travail décent:** Nos entretiens ont montré que le travail au sein des chaînes de valeurs laitières est qualifié de décent du fait qu'il est un emploi qui respecte des droits fondamentaux de la personnes humaine. Où le principe de démocratie est respecté, chaque coopérateur ou coopératrice représente une voix contrairement aux entreprises capitalistes.

**Impact-6: égalité des genres:** L'étude à dévoiler un autre moyen d'entreprendre «l'entrepreneuriat collectif». Vu l'intérêt plus croissant que plus de ce type d'entrepreneuriat. Les résultats affichent que sur 10 coopératives enquêtées 4 coopératives féminines avec une représentativité féminine (coopératrices et adhérentes) pour les 6 autres. En total 105 femmes intégrées dans les CDV (Tableau 1). L'intégration de la femme dans les CDV laitières lui a permis de participer dans l'activité économique, de prendre des décisions voire de responsabilité et de leadership.

**Impact-7: autonomisation:** À cet égard, plusieurs interviewés ont évoqué le fait que la création des coopératives et le travail dans les CDV laitières a constitué un moyen efficace pour eux de devenir indépendants et autonomes (posséder leur propre affaire, se sentir libre...)

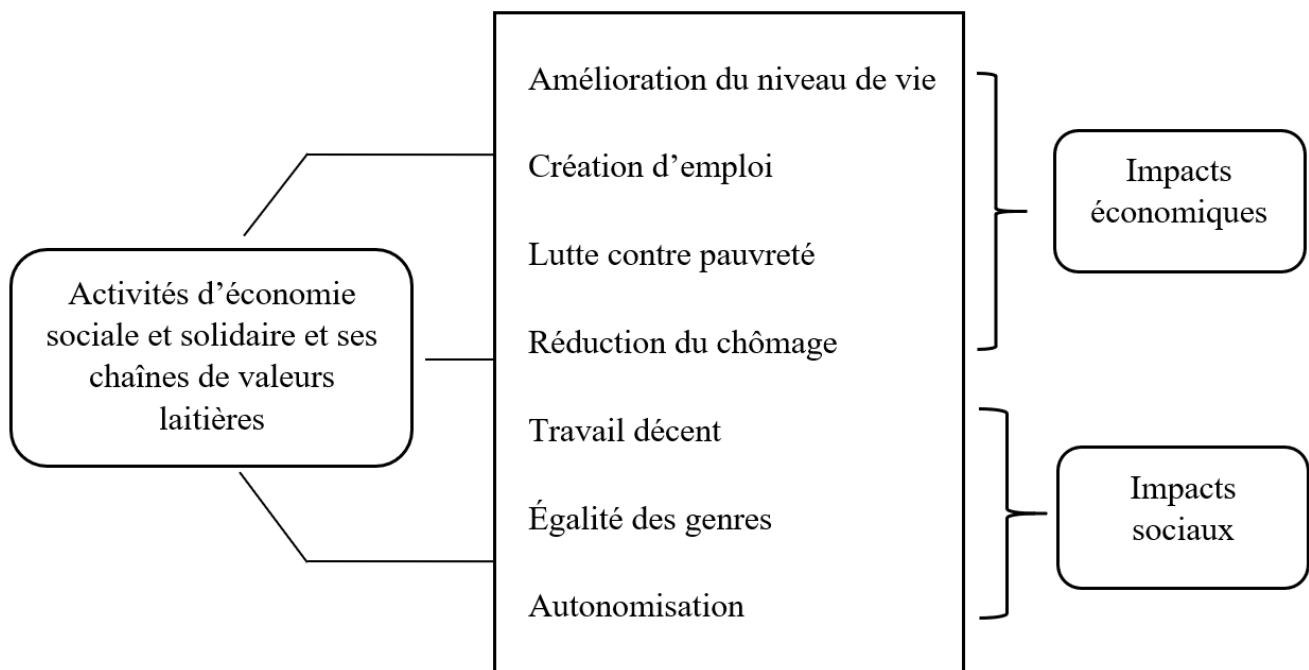


Figure 5: Modèle d'évaluation des impacts socio-économiques de la CDV

## CONCLUSION

L'objet de cette réflexion est de s'interroger sur les contributions des activités de l'économie sociale et solidaire et de ses chaînes de valeurs laitières sur le plan économique aussi que social.

Sur le plan théorique, notre recherche constitue, en elle-même, un apport primordial à la recherche dans le champ des activités de l'ESS et des chaînes de valeurs. Notre recherche démontre que les CDV laitières contribuent à améliorer le niveau de vie des acteurs impliqués (ménages, adhérents, coopérateur...), à faire gagner des conditions de travail dignes pour les travailleurs, à diminuer le taux de chômage et à lutter contre la pauvreté dans les zones rurales, à garantir l'égalité des genres en termes d'emploi, de droits et d'autonomisation.

Cependant, il y a lieu de signaler certaines dérives relatives à notre recherche. La thématique d'évaluation d'impacts socio-économiques est assez complexe et notre approche méthodologique ne se prétend pas être ni complète ni généralisée. Nos résultats sont liés à une étude qualitative d'un échantillon réduit de 10 coopératives situées dans une seule province alors que les chaînes de valeurs et les filières sont multiples et diverses.

Nous estimons qu'il faudrait penser à établir des démarches holistiques d'évaluation des impacts socio-économiques portant sur différents types de chaînes de valeurs. Cela pourra constituer un point de départ pour d'autres recherches ou des études qui ont pour objectif d'examiner en détail le fonctionnement/dysfonctionnements des CDV afin de mieux adapter une approche aux spécificités des territoires où les activités seront étendues.

## RÉFÉRENCES

- Arrahmouni I., Benabdellah A., Dehhaoui M., Benchekroun F. (2018). Analyse fonctionnelle de la chaîne de valeur d'Argane de la province de Tiznit: Cartographie des maillons et des acteurs. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 6: 429-436.
- Bergouignan M., Cazals C., Levy R., Oltra V, Maïder S.(2010). Ecotechnologies et développement durable: une analyse socio-économique. (No. hal-00546572).
- Bidet E. (1997). *L'économie sociale*, coll. Poche, Paris: Le Monde Éditions.
- Charreire S., Durieux, F. (1999). Explorer et tester, Extrait de Thietart, R.A. et coll. Méthodes de recherche en management. Dunod, Paris.
- Chopart J. N., Neyert G., Rault D. (2006). Les dynamiques de l'économie sociale et solidaire. La découverte, pp 5-7.
- Conseil Économique, Social et Environnemental (2015). Rapport annuel. <https://www.cese.ma/media/2020/10/Rapport-annuel-2015.pdf> pp 40
- Corbel P. (2013). Le concept de chaîne de valeur dans l'économie de la connaissance: une réflexion sur ses limites et son potentiel d'évolution. *Management des évolutions organisationnelles et stratégiques*, L'Harmattan, 225-245.
- Damon J. (2005). La pensée de... - Charles Fourier (1772-1837). *Informations sociales*, 125: 85-85.
- Draperi J. F. (2007). *Comprendre l'économie sociale, fondements et enjeux*, Dunod, Paris.
- Eme B., Laville J.L. (1988). *Les petits boulots en question*. Syros, Paris.
- Fabre P., Dabat M., Orlandoni M. (2021). Note méthodologique pour l'analyse des chaînes de valeurs agricoles: Cadre et outils - Éléments clés. <https://europa.eu/capacity4dev/file/113404/download?token=SbO2eNt9>

Fretel A. (2008). L'association comme réponse à la question sociale du XIX<sup>e</sup> au XX<sup>e</sup> siècle: d'un registre libéral à l'alliance à l'État social, *Revue de la régulation. Capitalisme, institutions, pouvoirs*, 2 (<https://journals.openedition.org/regulation/1942>).

Kayser O., Budinich E. (2016). *Changer d'échelle: l'entreprise au service de l'innovation sociale*. Édition Rue de l'échiquier, pp. 23-24.

Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, du Développement Rural et des Eaux et Forêts (2019). Filières, en ligne: <https://www.agriculture.gov.ma/fr/filiere/lait.pdf>.

Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, du Développement Rural et des Eaux et Forêts (2022). Direction Provinciale d'Agriculture, données internes.

Patton M.Q. (2002). *Qualitative Research and Evaluation Methods*, Sage Publications.

Peraldi X., Rombaldi M. (2009). La contribution de l'économie sociale et solidaire au développement rural: quelques constats dans le contexte Corse. *Géographie, économie, société*, 11: 161-179.

Rémy V. (2016). Les structures de l'insertion par l'activité économique: quels liens avec les différents acteurs économiques? *Dares Analyses*: 52.

Savenye W. C., Robinson R. S. (1996). Qualitative research issues and methods: An introduction for educational technologists. In D. Jonassen, *Handbook of research for educational communications and technology*.

Swaton S. (2011). Une entreprise peut-elle être sociale dans une économie de marché ? *L'Hèbe*.

Yahyaoui Y., Bentahar H. (2003). Évolution historique de l'économie sociale et solidaire au Maroc, pp 1-3. <http://fr.pekea-fr.org/comm/S-3-Yahyaoui.html>

# Analyse des effets des facteurs d'intensification sur les types d'exploitations agricoles du mil sanio au Sénégal

Sandjiry DIOP<sup>1</sup>, Madické Mbodj NDIAYE<sup>1</sup>, Ibrahima DIALLO<sup>1</sup>, Babacar SENE<sup>2</sup>

(Reçu le 19/10/2022; Accepté le 25/10/2022)

## Résumé

L'objectif de l'étude est d'identifier l'effet des facteurs d'intensification du système de production du mil sanio en fonction de la typologie des exploitations agricoles. L'approche méthodologique classe, premièrement, les exploitations à travers la méthode des analyses en facteurs multiples et deuxièmement, utilise le modèle logit pour identifier les facteurs déterminants de l'intensification dans les exploitations agricoles. Les résultats ont montré que le recours à la main d'œuvre familiale, le montant du crédit, l'appui des ONG et l'acquisition de terres par héritage augmente les rendements sur l'intensification de la production dans les exploitations traditionnelles. L'ethnie, le montant du crédit, l'accès aux engrais et l'appui des ONG renforcent l'intensification des rendements dans les exploitations peu productives ou semi-modernes. Les variables ethnie, l'accès aux engrais, l'appui des ONG, l'acquisition des terres par achat encouragent l'intensification de la production dans les exploitations très productives ou modernes. Cependant, le recours à la main-d'œuvre familiale et le montant du crédit agricole diminuent les rendements dans les exploitations très productives ou modernes.

**Mots-clés:** Intensification, typologie, mil sanio, Haute Casamance

## Analysis of the effects of intensification factors on the types of sanio millet farms in Senegal

### Abstract

This study identifies the factors that influence the intensification of the sanio millet production system based on the farm's typology. The methodological approach classifies, firstly, the farms through the method of multiple factors analysis and secondly, uses the logistics model to identify the determining factors of intensification in the farms. The results show that family farms can be classified into three types: traditional farms (type I), low productive farms (type II) and large productive farms (Type III). The results showed that the use of family labor, the amount of credit, the support of NGOs and the acquisition of land by inheritance increases the returns on the intensification of production in traditional farms. Ethnicity, the amount of credit, access to fertilizers and support from NGOs reinforce the intensification of yields in low-productivity or semi-modern farms. Ethnicity variables, access to fertilizers, support from NGOs, land acquisition by purchase encourage the intensification of production in highly productive or modern farms. However, the use of family labor and the amount of agricultural credit reduce yields on highly productive or modern farms.

**Keywords:** Casamance, intensification, sanio millet, typology

## INTRODUCTION

L'intensification de l'agriculture au XX<sup>e</sup> siècle a permis aux pays développés de satisfaire leurs besoins alimentaires par une simplification des systèmes et une homogénéisation des pratiques (Ghali *et al.*, 2014). Les petits exploitants d'Afrique subsaharienne (ASS) sont confrontés à des choix difficiles alors qu'ils visent à atteindre de multiples objectifs individuels, familiaux, communautaires et sociétaux plus larges Adolph *et al.*, (2020). Dans le contexte des changements globaux (Variabilité climatique et pluviométrique), l'intensification des systèmes de production est l'un des phénomènes les plus importants de notre ère (Mballo *et al.*, 2021). Le Sénégal, à l'instar des pays africains investit dans la recherche pour la croissance et le développement agricole. Toutefois, le constat est que l'intensification agricole demeure faible et variable selon les types d'exploitations agricoles avec des rendements en deçà du potentiel. Dans la plupart des pays, on s'attend à ce que l'intensification de la production pour l'autosuffisance alimentaire soit au cœur des politiques agricoles. Le mil (*Pennisetum glaucum*) est devenu prépondérant dans le système de production de la zone agro-écologique au sud du Sénégal. Il est intégré pour de nombreux producteurs dans leur consommation quotidienne. Selon l'Initiative Prospective Agricole et Rurale (IPAR) en 2018 au Sénégal, la consommation de mil par personne qui était de 50,1 kg en 1995 est passée à 23,1 kg en 2018.

Le système de production agricole du mil dans la Haute Casamance a connu des dynamiques sociales et environnementales au cours de ces dernières années (WAAP, 2017). La faiblesse des rendements (296 kg/ha) et la réduction des surfaces emblavées ont conduit à un abandon progressif de la production du sanio dans les exploitations (Bamba *et al.*, 2019), cela a rendu plus complexe les objectifs d'auto-suffisance alimentaire. Ainsi, la situation des productions du mil (souma ou type hâtif et mil sanio de type tardif et photopériodique) révèle les bouleversements écologiques face aux changements climatiques et l'inaccessibilité des facteurs de production (DPEE, 2019). La production du mil dans la Haute Casamance est confrontée à des contraintes d'ordre climatique, pédologique, technique, organisationnel et socio-économique.

Globalement le mil sanio tardif est une céréale cultivée essentiellement dans les régions Sud et Sud-est du Sénégal à cause de son cycle long (Bamba *et al.*, 2019). La production de mil dans la zone était estimée à 111 259 tonnes sur une superficie de 138 267 ha en 2017 (DAPSA, 2018). Malgré la mise en place des politiques agricoles, la primauté est toujours réservée à la riziculture dans le Programme de Relance et l'Accélération de la Cadence de l'Agriculture au Sénégal (PRACAS). Les recherches expérimentales effectuées jusque-là dans le milieu révèlent que les répercussions des dynamiques d'intensification sur les rendements selon les types d'exploitations vont varier considérablement (Doukpolo, 2014). La production du mil en nette régres-

<sup>1</sup> Département d'Économie, Université Alioune Diop de Bambey, Sénégal

<sup>2</sup> Laboratoire de Finance pour le Développement, Université Cheikh Anta Diop, Dakar

sion et la problématique que traversent les exploitations agricoles risquent d'impacter de façon durable le système de production. Dans le cadre de l'intensification agricole, plusieurs politiques ont été initiées par l'État du Sénégal (aménagements hydro-agricoles, mécanisation et subventions des intrants) (Mballo, 2019). Face à cette situation peu reluisante, l'identification de l'intensification à l'épreuve des facteurs de production est essentielle pour soutenir la production des cultures vivrières et assurer la sécurité alimentaire (GIEC, 2014).

De ce fait, l'analyse de la typologie et des facteurs d'intensification suscite une interrogation: les déterminants ont-ils les mêmes effets sur les types d'exploitations agricoles? À partir de ces évidences, il importe d'associer une réelle dynamique du système de production et la typologie des exploitations agricoles. Dans ce cas précis, l'hétérogénéité des exploitations nécessite une analyse typologique étoffée et précise des caractéristiques du système de production. En vue de tenir compte de la multi-dimensionnalité de ces caractéristiques, l'analyse Facteurs multiple (AFM) se présente comme la méthode idéale pour exploiter et structurer l'ensemble des informations contenues dans les données d'enquête.

L'objectif de cette étude est d'identifier l'effet des facteurs d'intensification dans les types d'exploitations agricoles de mil sanio. Spécifiquement, il s'agit de faire la typologie des exploitations et de montrer les facteurs qui influencent l'intensification.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Analyse en facteur multiple (AFM)

Pour appliquer la méthode statistique, l'analyse exploratoire est faite pour vérifier le caractère factoriel des données:

- Tests de corrélation de Pearson avec un niveau de probabilité  $\alpha=0.05$  ( $p \leq 0,05$ ) qui permet l'analyse d'une relation linéaire entre deux variables. Pour ces analyses on pose  $H_0$  = pas de relation et  $H_1$  = relation (Test bilatéral).
- Test de sphéricité de Bartlett montre que la matrice des corrélations s'écarte significativement de la matrice unité. On rejette l'hypothèse selon laquelle il n'y a pas de corrélations différentes de 0.

$$\chi^2 = -(n - 1 - \frac{2p+5}{6}) \times \ln /R/ \quad (1)$$

Sous  $H_0$  (tous les éléments en dehors de la diagonale sont nuls, aucune corrélation/covariance entre les variables) cette statistique suit une loi de  $\chi^2$  à  $((P \times (P-1))/2)$  degrés de liberté. On rejette  $H_0$  lorsque la statistique lue dans la table de la loi de  $\chi^2$  est supérieure à la valeur seuil à un seuil d'erreur de 5%.

- La statistique de Kaiser-Mayer-Olkin (KMO): soit la matrice des corrélations brutes et la matrice des corrélations partielles, l'indice KMO globale s'écrit:

$$KMO = \frac{\sum \sum_{j \neq i} r^2_{ij}}{\sum \sum_{j \neq i} r^2_{ij} + \sum \sum_{j \neq i} a^2_{ij}} \quad (2)$$

Tableau 1: La signification des variables des modèles

Variables	Signification	Variables	Signification
Mod_acq	Mode acquisition	Mont_cred	Montant du crédit
Ethnie	Ethnie	Ac_eng	Accès aux engrais
Main_oeuvr	Main-d'œuvre	Ac_cred	Accès au crédit
Age	Age	Ap_ONG	Appui des ONG
Tyy_ins	Type d'instruction	pluv	Pluviométrie
Qual_sem	Qualité semence	Region	Région

La valeur du KMO se doit d'être au minimum égale à 0,5 et dans le meilleur des cas se situent entre 0,8 et 0,9 (Kaiser, 1974). La validation des tests de Bartlett et de Kaiser-Mayer-Olkin est obligatoire dans l'objectif de valider l'utilisation de l'analyse exploratoire.

- Classification ascendante hiérarchiques permet d'obtenir le dendrogramme: La CAH est un outil de classification qui permet de mettre en évidence un regroupement naturel d'un ensemble d'individus décrit par des caractéristiques. La représentation se fait sous forme de série de partition emboîté appelé dendrogramme.

### Présentation du modèle économétrique

Le modèle économétrique de type logit est appliqué dans le cas des variables dichotomiques d'où  $\beta$  le vecteur de paramètre et  $\varepsilon_i$  l'erreur résiduelle suivent une distribution normale. En définissant une variable dichotomique  $y_i$  telle  $Y=1$  si l'exploitant appartient à un type 1, 2 ou 3 et  $Y=0$  sinon. La probabilité  $P_i$  s'écrit:

$$P(y_i = 1/X_i) = F(\beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik}) = F(X_i \beta) \quad (3)$$

Où  $P(y_i = 1/X_i)$  représente la probabilité que  $y_i$  soit égal à 1 conditionnellement aux caractéristiques  $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}$ .  $\beta$  est un vecteur constitué de  $k+1$  paramètres:  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ .  $F(\cdot)$  est la fonction de répartition de la quantité  $\beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik}$  ( $(X_i, \beta)$  sous la forme matricielle). En se basant sur les propriétés, le modèle à choix discret s'écrit comme suit:

$$\begin{cases} P(y_i = 1) = F(X_i \beta) \\ P(y_i = 0) = 1 - F(X_i \beta) \end{cases} \quad (4)$$

D'une manière générale, le modèle s'écrit comme suit:  $y_i = F(X_i \beta) + \varepsilon_i$  où  $\varepsilon_i$  est le terme d'erreur.

Mathématiquement, si on considère une exploitation agricole familiale qui combine des facteurs pour l'intensification (Tableau 1 et 2) par rapport à la typologie des exploitations agricoles, le modèle Logit est représenté par la formule suivante:

$$\begin{aligned} \text{logit classe}_i = & \beta_0 + \beta_1 \text{Ac\_eng}_i + \beta_2 \text{Mont\_cred}_i + \beta_3 \text{Acq\_mat}_i + \beta_4 \text{Ap\_ONG}_i \\ & + \beta_5 \text{Ethnie}_i + \beta_6 \text{Main\_oevr}_i + \beta_7 \text{Typ\_ins}_i + \beta_8 \text{Qual\_sem}_i + \beta_9 \text{Region}_i \\ & + \beta_{10} \text{Pluv}_i + \beta_{11} \text{Age}_i + \dots + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (5)$$

$\varepsilon_i$ : Représente le terme d'erreur.

### Présentation de la zone et sources de données

Les données de l'étude sont le fruit des enquêtes de terrain réalisées en 2017. L'étude a été réalisée dans l'aire d'intervention du projet Mil Sanio du Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest. Il s'agit de la Casamance (région de Kolda (12°53'00" N, 14°57'00" O), Sédiou (12°42'29" N 15°33'25" O)). À la suite de ces deux phases, une enquête orientée sur la culture du sanio sera effectuée au niveau des exploitations agricoles et selon les différents systèmes de production identifiés. Ainsi, un échantillonnage raisonné est fait pour les différents systèmes de production et un échantillonnage aléatoire sera privilégié. L'échantillon concerne 23 villages dont dans chaque village 9 exploitants sont interrogés. En effet, 200 exploitants agricoles ont finalement été interrogés dans le cadre de cette recherche.

Les caractéristiques du système de production des exploitations agricoles familiales donnent une photographie du profil agronomique moyen des producteurs du mil sanio.

Les quantités d'intrants déclarées par les producteurs de l'échantillon montrent qu'ils sont loin de respecter les recommandations de la recherche. Les superficies de mil sanio sont relativement faibles (1,66 ha par exploitation agricole). Ce qui met en évidence le caractère extensif de la culture de mil.

Les rendements de mil sanio sont loin des standards de potentiel agronomique (406,7 Kg/ha contre 850 Kg/ha). Dans les champs de case et brousse, très peu de fertilisants sont utilisés pour le mil (54,2 Kg sur 25,5 ha) alors que les doses recommandées dans les itinéraires techniques sont 150 Kg de NPK et 100 kg d'urée par hectare. Pour les semences, les producteurs utilisent en moyenne 6,8 kg par hectare, alors que la dose recommandée est de 4 kg/ha.

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le diagramme des facteurs de la figure 1 permet de montrer trois types de producteur en fonction de l'utilisation des facteurs de production en capital et travail. Les exploitations traditionnelles de type 1 (avec de petites tailles) pratiquent une agriculture traditionnelle en se basant sur le capital avec l'utilisation de grandes surfaces et de grandes quantités de semence pour une production très faible. Les types 2 et 3: peu productives (semi-modernes tournées vers la diversification de la production) et très productives ou modernes (utilisant des facteurs pour une production commerciale) utilisent les intrants tels que le NPK et l'urée dans le processus de production. En outre, la volonté individuelle des types d'exploitations constitue un vecteur déterminant du changement dans la mesure où, elle assure la transmission et l'apprentissage de pratiques nouvelles.

Tableau 2: Statistiques descriptives des variables du modèle

Variables	Description des variables quantitatives	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum
Main-d'œuvre	Continue	13,3	8,47	2	40
Age	Continue	50,0	12,3	24	90
Montant du crédit	Continue	24028	20790	0	92 600
Variables	Description des variables qualitatives	Proportion dans l'échantillon			
Sexe	1 : Homme, 0 : Femmes	92,5% 7,5%			
Moyen de transport	1 : A pieds 2 : Charrettes 3 : Motos	35% 55% 10%			
Accès au crédit	1 : Oui 0 : Non	45% 55%			
Accès aux engrais	1 : Oui 0 : Non	68% 32%			
Type d'instruction	1 : Français 0 : Autres	40% 60%			
Appui des ONG	1 : Oui 0 : Non	15% 85%			
Ethnie	1 : Diola 3 : Autres	65% 35%			
Acquisition matériel	1 : Héritage 2 : Achat 3 : Autres	39% 48% 13%			
Pluviométrie	1 : Bonne 0 : Pas Bonne	65% 35%			
Région	1 : Kolda 2 : Sédhiou	56,5% 43,5%			

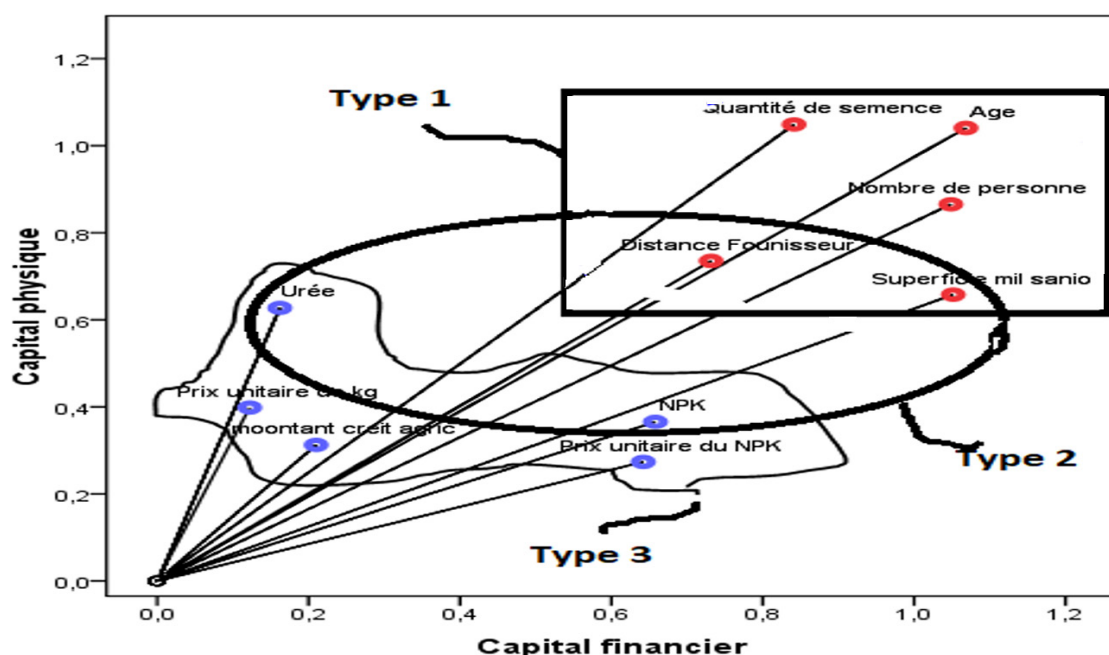


Figure 2: Diagramme des facteurs

L'accès aux crédits et l'appui des ONG sont des critères de discrimination dans la Haute Casamance représentés par la figure 2. Le crédit agricole dans les exploitations de mil sanio est rarement perçu par les producteurs pour des conceptions culturelles du revenu agricole. C'est ainsi que l'on observe une corrélation positive entre l'appui des ONG et le crédit agricole. Les ONG dans la région de Kolda permettent d'obtenir du financement. Peu de producteurs de sanio (15%) sont appuyés par les ONG. Les structures de financements sont toutes pratiquement basées à Kolda. Ce déséquilibre se manifeste naturellement sur le crédit avec 41% des exploitations qui ont accès aux crédits agricoles. En raison de la typologie effectuée sur les exploitations, le modèle logistique est utilisé suivant les types d'exploitation: le type 1 (traditionnel), type 2 (peu productif) et le type 3 (grandes exploitations productives). Après le diagnostic des résultats de l'estimation des modèles obtenus plusieurs critères ou indicateurs sont retenus pour la validation de la qualité de l'ajustement. Le critère d'AIC (Akaike) s'effectue sur la base d'une minimisation de la valeur obtenue. Le test de Hosmer-Lemeshow montre que les probabilités associées à la statistique de  $\chi^2$  (1.0000) sont supérieures à 0,05 affirmant que l'ajustement du modèle est bon. De même le modèle est globalement significatif. Le choix du modèle Logit ou Probit s'est fait sur la base du tableau comparatif après les estimations des modèles (Tableau 3). En se référant sur nos estimations, on constate que le modèle Logit est meilleur en termes de résultats à celui du modèle Probit. Si on raisonne en termes de pourcentage de

prédiction, le pourcentage vrai du modèle logit est supérieur à celui du Probit. De plus pour le  $R^2$  de McFadden du modèle logit est supérieur à celui du Probit (Tableau 3). La courbe de Roc donne une présentation visuelle de la capacité discriminante, mais l'aire sous roc est de 0,85 pour juger du modèle (Figure 3). Ainsi, la courbe permet une validation du bon pouvoir de prédiction du modèle. L'aire du roc 0,85 signifie dans la sélection au hasard des exploitations agricoles familiales. Un des groupes est efficient et l'autre ne l'est pas, donc avec ce graphe on peut dire que l'exploitation efficient aura un résultat plus élevé que celle qui est inefficiente dans 85% du temps.

L'estimation du modèle logistique montre que les facteurs d'intensification dans les exploitations sont divers et dépendent des caractéristiques du producteur. Les résultats économétriques sont résumés dans le tableau 4.

La variable ethnie a une influence positive significative sur l'intensification de la production dans les exploitations peu productives (semi-modernes tournées vers diversification de la production) et très productives ou modernes (utilisant des facteurs pour une production commerciale). Ce qui révèle le caractère culturel du sanio. Elle permet de renseigner sur l'emplacement des grandes exploitations productives. La culture du mil sanio peut être conçue comme identitaire et culturelle dans les zones de Kolda et de Sédhiou. Ainsi l'appartenance à certaines ethnies surtout comme «Diola» peut diminuer les chances de prendre du crédit pour ces conceptions traditionnelles.

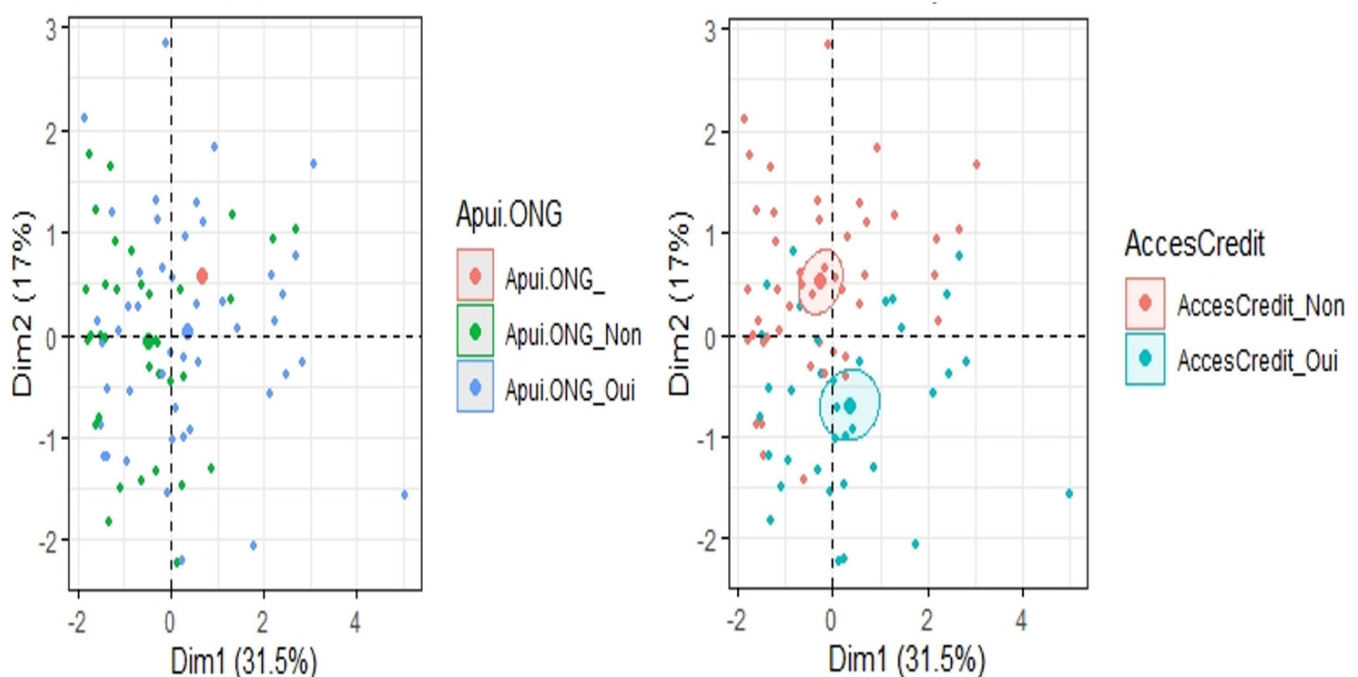


Figure 2: Projection des facteurs (crédit agricole et appui des ONG) selon les exploitations

Tableau 3: Comparaison des résultats des modèles Logit et Probit

Variables		LR de $\chi^2$	Prob> $\chi^2$	R <sup>2</sup> MC Fadden	% de Prédiction vraie
Type 1	Logit	22,2	0,0082	0,1047	68,8 %
	Probit	22,2	0,0084	0,1045	67,5 %
Type 2	Logit	26,6	0,0016	0,1231	68,1 %
	Probit	26,4	0,0018	0,1221	66,1 %
Type 3	Logit	9,71	0,0037	0,0554	73,9 %
	Probit	9,87	0,0057	0,0545	72,8 %



La main d'œuvre a une influence positive et significative (au seuil de 5%) sur l'intensification de la production dans les exploitations traditionnelles. Par contre, le coefficient est négatif et significatif dans les exploitations agricoles très productives ou modernes. Une synthèse des différentes recherches indique que l'impact de la main d'œuvre sur l'intensification reste mitigé. Gathala *et al.* (2021) ont montré qu'il est possible d'augmenter les moyens de subsistance et de réduire l'impact des pénuries de main-d'œuvre pour les petits exploitants agricoles vivant dans des conditions climatiques, édaphiques et sociales diverses dans la région. Mukhtar (2018) avance que les producteurs de mil qui sont de grandes tailles familiales cherchent toujours à obtenir une production plus élevée pour subvenir aux besoins de l'exploitation. En outre, Baldé *et al.* (2014) arrivent à la même conclusion. Cette main d'œuvre familiale constitue la force du travail.

Le montant du crédit est un déterminant significatif qui influence positivement l'intensification de la production dans les exploitations traditionnelles et peu productives ou semi-modernes. Ce résultat inattendu montre que le montant du crédit a une influence négative dans les exploitations très productives ou modernes. Ceci est en plein accord avec les résultats de notre enquête, vu que la totalité des crédits contractés par les exploitants sont orientés pour moderniser leurs exploitations. Comme souligné par Udry (2010), l'accès au crédit fait partie des principales imperfections du marché qui font que les rendements des producteurs africains sont si faibles. En effet, le montant du crédit permet à un exploitant de surmonter les contraintes financières liées à l'achat d'engrais ou un nouveau package technologique. Ces résultats sont en phase avec ceux de Salau *et al.* (2012) et Simonyan *et al.* (2011) dans les exploitations de maïs dans deux zones différentes au Nigéria.

L'accès à l'engrais, significatif au seuil de 5%, a une influence positive sur l'intensification de la production dans les exploitations peu productives ou semi-modernes

et celles très productives ou modernes. Ce résultat semble être logique au regard des pratiques culturales et aussi de la performance de la production observée dans haute Casamance. Le coefficient non significatif et négatif dans les exploitations traditionnelles montre en partie une pratique de la culture du mil sanio sans engrais. L'intensification des cultures, même modérée, à travers l'application de fumure organique sur le mil permet d'augmenter la performance agricole (Camara, 2018). Ces résultats sont en phase avec les travaux de Zeinabou *et al.*, (2014) sur le mil et Somda *et al.*, (2017) sur le sorgho.

Le mode d'acquisition du matériel par héritage a une influence significative et positive sur les exploitations traditionnelles. De même, le mode d'acquisition par l'achat est positif et significatif (au seuil de 5%) dans les exploitations très productives. Ces résultats mettent en évidence le rôle positif de l'acquisition du matériel dans les zones les plus proches des structures d'encadrement, comparativement à une implantation dans le pôle rural. Le coefficient non significatif du mode d'acquisition du matériel (Héritage ou achat) dans les exploitations peu productives indique l'inefficience des politiques de mécanisation sur la production du mil sanio. En supprimant les goulots d'étranglement qui peuvent se situer au niveau de la préparation du sol, du semis et du désherbage, l'acquisition du matériel agricole permet à un actif seul d'exploiter de plus grandes surfaces (Touzard, 2009).

Le coefficient positif et significatif de la variable âge indique une influence de l'intensification de la production dans les exploitations traditionnelles. Cela peut s'expliquer par le fait que les jeunes producteurs de mil ont plus tendance à adopter les technologies modernes pour améliorer la production et la gestion agricole. L'âge est souvent un bon proxy de l'expérience agricole. Nos résultats sont corroborés par Mounirou (2015) qui trouve que l'âge et l'expérience sont significatifs dans le type traditionnel. En effet, les exploitants ont tendance à développer une certaine

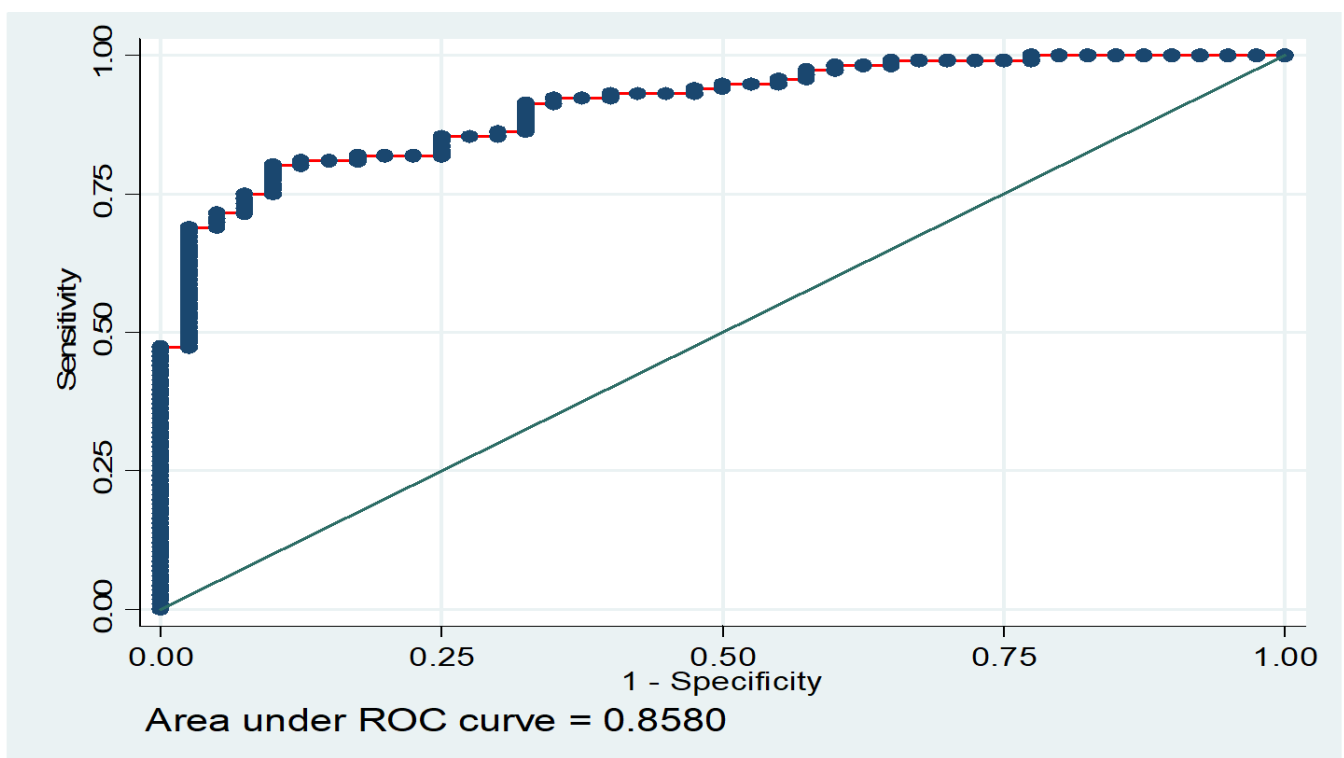


Figure 3: Courbe d'évaluation de la qualité prédictive du modèle

expertise concernant les meilleures pratiques d'utilisation des inputs (Selmi *et al.*, 2015).

La pluviométrie a une influence positive et significative tous les types d'exploitations de la zone. Les variations des conditions climatiques pourraient avoir une influence considérable sur les rendements des cultures céréalières. Toutefois, l'effet économique de la variation des températures est plus important que celui de la variation des précipitations sur le rendement des produits céréaliers. En effet, une baisse de 1°C de la température entraîne une réduction des rendements de 111,2 kg/ha; alors qu'une baisse de 1 mm des précipitations fait régresser les rendements de 0,796 kg/ha (Faye *et al.*, 2018). A la lumière de ces enjeux, plusieurs technologies peuvent être générées par la recherche et proposées à la vulgarisation. Ces technologies peuvent être réparties en quatre catégories: les variétés améliorées, les pratiques culturales, la défense des cultures et les méthodes de stockage.

Dans la zone, la variable appui des ONG influence de façon positive l'intensification de la production dans les exploitations traditionnelles, peu productives et très productives. Ces résultats s'expliquent par le fait que les ONG fournissent généralement des semences certifiées et un appui technique. Ces résultats montrent que les exploitations vont entrer dans une logique de production beaucoup plus rentable. Les nouvelles orientations facilitent la transformation du mil sous formes de farine «Araw». Les ONG et le secteur privé ont fait leur apparition dans le contexte de la libéralisation et d'ouverture du secteur agricole. Le rôle positif de ces ONG se présente comme garants pour les exploitations dans le mécanisme de financement. Ainsi, Mulhubran *et al.*, (2012) avaient déjà trouvé un effet positif de l'appui des ONG sur l'intensification de la production agricole.

## CONCLUSION

L'objectif cette étude est d'identifier les facteurs d'intensification du système de production selon les types d'exploitations agricoles. La méthodologie empirique utilisée combine une analyse statistique multifactorielle et régression linéaire du modèle logistique. Toutefois, les exploitations agricoles familiales peuvent être classées en trois types: les exploitations traditionnelles (avec de petites tailles), peu productives ou semi-modernes (tournées vers diversification de la production) et très productives ou modernes (utilisant des facteurs pour une production commerciale).

Les résultats ont montré que le recours à la main d'œuvre familiale, le montant du crédit, l'appui des ONG et l'acquisition de terres par héritage augmente les rendements sur l'intensification de la production dans les exploitations traditionnelles. L'ethnie, le montant du crédit, l'accès aux engrais et l'appui des ONG renforcent l'intensification des rendements dans les exploitations peu productives ou semi-modernes. Les variables ethnie, l'accès aux engrais, l'appui des ONG, l'acquisition des terres par achat encouragent l'intensification de la production dans les exploitations très productives ou moderne. Cependant, le recours à la main-d'œuvre familiale et le montant du crédit agricole diminuent les rendements dans les exploitations très productives ou modernes.

Ces résultats sont particulièrement importants pour la conception des politiques visant à élaborer les stratégies d'intensification efficace pour faire face aux impacts potentiels des changements globaux. Les politiques publiques peuvent jouer un rôle important pour aider les exploitations à utiliser les facteurs d'intensification dans les types d'exploitations. La typologie est nécessaire pour mieux comprendre la dimension comportementale des exploi-

**Tableau 4: Résultat de l'estimation du modèle logit selon les types d'exploitation**

Variables	Type 1 Exploitations traditionnelles		Type 2 Exploitation semi-modernes		Type 3 Exploitations modernes	
	Coefficients	Écart-type	Coefficients	Écart-type	Coefficients	Écart-type
Région	0,064	0,032	-1,131	1,437	-0,274	1,475
Ethnie	-0,40	0,199	0,289**	0,094	0,092*	0,084
Age	0,043**	0,023	0,078	0,344	0,013	0,002
Acquisition matériel						
Héritage	0,572**	0,023	0,860	0,572	-0,725	0,450
Achat	-0,5760	0,403	1,840	0,108	0,641**	0,329
Montant du crédit	0,034**	0,004	0,049***	0,019	-0,062**	0,746
Appui ONG	0,350**	0,065	1,493**	0,569	0,697**	0,482
Qualité semence	0,110	0,148	-2,350	1,752	-1,477	0,139
Accès aux engrais	-0,636	0,332	0,877**	0,135	0,342**	0,275
Main d'œuvre	0,343*	0,035	0,542	0,113	-1,812**	0,263
Niveau instruction	-0,491	0,469	2, 31	1,275	-0,383	0,397
Pluviométrie	0,354**	0,023	0,892**	1,354	0,567**	0,483
Constant	2,35	2,037	4,43	2,996	-1,085	1,623
Observations	156		75		156	
Prob>chi2	0,008		0,001		0,003	
Pseudo R <sup>2</sup>	0,104		0,120		0,050	
AIC	0,282		0,274		0,295	

Niveaux de significativité : \* :10% \*\* :5% \*\*\* : 1%

tants. La limite de cette étude est que le montant du crédit a un effet négatif sur l'intensification des exploitations très productives.

En termes de perspectives, il serait intéressant d'intégrer l'hétérogénéité spatiale dans les résultats de cette étude, en tenant compte des spécificités par région. Cela permettrait aux politiques agricoles de mieux cibler leurs interventions dans la zone de production de cette spéculatation tant importante à la sécurité alimentaire qu'à l'accroissement du revenu et à la génération d'emplois via la transformation céréalière. Une piste de recherche consisterait donc à identifier la nature des effets de groupe constatés par l'accès au crédit pour évaluer son impact sur l'efficacité technique de la production du mil sanio.

## RÉFÉRENCES

- Adolph B., Allen M., Beyuo E., Banuoku D., Barrett S., Bourgo T., Zongo A. F. (2021). Supporting smallholders' decision making: managing trade-offs and synergies for sustainable agricultural intensification. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 19: 456-473.
- Baldé B.S., Kobayashi H., Nohmi M., Ishida A. (2014). An analysis of technical efficiency of Mangrove rice production in the Guinean Coastal Area. *Journal of Agricultural Science*, 6: 179.
- Bamba B., Gueye M., Ngom D., Ka S. (2019). Caractérisation des pratiques locales du mil sanio [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br] en zone soudanienne humide au Sénégal. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 13: 1054-1063.
- Doukpolo B. (2014). Changements climatiques et productions agricoles dans l'Ouest de la République Centrafricaine, Thèse de troisième cycle, Université d'Abomey Calavi (UAC), République du Bénin, 338 p.
- Gathala M.K., Laing A.M., Tiwari T.P., Timsina J., Rola-Rubzen, F., Islam S., Gerard, B. (2021). Improving smallholder farmers' gross margins and labor-use efficiency across a range of cropping systems in the Eastern Gangetic Plains. *World Development*, 138: 105266.
- Mballo I., Sy O. (2021). Variabilité pluviométrique et insécurité alimentaire au Sénégal: le cas de la Haute Casamance. *Climate change and Food Security in West Africa*, Actes de la Conférence à Dakar 17-18 Novembre, 2019, p. 2637- 3645.
- Sène A.M., Mballo I., Sy O. (2019). Aménagements agricoles et sécurité alimentaire au Sénégal: cas de la Haute Casamance (Sénégal). *Espace Géographique et Société Marocaine*, 27:85-103.
- Mounirou I. (2015), Perception et adoption des innovations techniques agricoles dans le bassin cotonnier de Banikoara au Bénin. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 10: 87-102.
- Mulubrhan A., Asfaw S., Shiferaw B. (2012). Welfare impacts of maize-pigeonpea intensification in Tanzania. *Agricultural Economics*, 43: 27-43.
- Mukhtar U., Mohamed Z., Shamsuddin M.N., Sharifuddin J., Bala M. (2018). Econometric analysis of technical efficiency of pearl millet farmers in Kano State, Nigeria. In E3S Web of Conferences 52, EDP Sciences.
- Salau S., Adewumi M., Omothes O. (2012). Technical efficiency and its determinants at different levels of intensification Nigeria. *Ethiopian Journal of Environment Studies and Management*, 5: 195-206.
- Selmi S., Ali S.B., Hadded S. (2015). Accès aux crédits bancaires et efficacité technique des exploitations agricoles dans les périmètres irrigués du gouvernorat de Tataouine dans le Sud-Est tunisien. *New Medit*, 1: 75-80.
- Simonyan J., Umoren B., Okoye B. (2011). Gender differentials in technical efficiency among maize farmers in Essien Udim local government area, Nigeria. *International Journal of Economics and Management Sciences*, 1: 17-30.
- Somda BB, Ouattara AB, Serme I, Pouya MB, Lompo F, Taonda. SJP, Sedogo PM. (2017). Détermination des doses optimales de fumures organo-minérales en microdose dans la zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 11: 670-683.
- Touzard I. (2009). Évaluer la productivité de l'agriculture familiale: aiguisons nos outils de mesure. *Grain de sel*, 48: 33-35.
- Udry C. (2010). The economics of agriculture in Africa: Notes toward a research program. *African Journal of Agriculture and Resource Economics*, 5: 284-299.
- Zeinabou H, Mahamane S, Bismarck NH, Bado BV, Lompo F, Bationo A. (2014). Effet de la combinaison des fumures organo-minérales et de la rotation niébé-mil sur la nutrition azotée et les rendements du mil au sahel. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8: 1620-1632.

# Analyse des déterminants du choix l'approvisionnement des ménages en viande à Dakar (Sénégal)

Sandjiry DIOP<sup>1</sup>, Pape Ndary NIANG<sup>2</sup>

(Reçu le 19/10/2022; Accepté le 25/10/2022)

## Résumé

L'objectif de cette étude est d'analyser les déterminants du choix d'approvisionnement des ménages en viande dans la région de Dakar. L'échantillon est constitué de 500 ménages choisis de manière aléatoire en 2018. Le modèle économétrique utilisé est le logistique multinomial. Les résultats révèlent que la zone de résidence, le type de consommation, la fréquence de consommation, la fréquence de consommation, les critères de la viande, la provenance de la viande et les dépenses de consommation augmentent les chances de s'approvisionner dans les états de quartier, des boucheries modernes et des supermarchés. Cependant, la catégorie socio-économique, la fréquence d'achat, le prix, les raisons d'achat et la quantité de viande impactent négativement sur l'approvisionnement dans les boucheries modernes. De même le critère d'achat, la période de consommation et la quantité diminuent les chances de s'approvisionner dans les supermarchés. Ces résultats impliquent l'investissement dans les politiques et programmes d'élevage pour rendre plus disponible et à moindre coût la viande dans la chaîne de valeur.

**Mots-clés:** Approvisionnement, Viande, bétails, logit multinomial, Sénégal

## Analysis of Dakar's household meat supply choice determinants in Dakar (Sénégal)

### Abstract

This study purpose is to analyzes the determinants of household meat supply choices in the Dakar region. The sample consists of 500 households at random sampled in 2018. The econometric model used is a multinomial logistic model. The results show that residence area, type of consumption, frequency of consumption, meat criteria, meat source and consumption expenditure increase the possibility that households will purchase meat from neighborhood markets, modern butcher shops and supermarkets. However, socio-economic class, frequency of purchase, price, reasons for purchase and quantity of meat negatively affect supply in modern butcher shops. Furthermore, the purchase criterion, the consumption period and the quantity decrease the supply possibilities in supermarkets. These results suggest more investment in livestock policies and programs to increase the availability and reduce the cost of meat in the supply chain.

**Keywords:** Supply, Meat, cattle, multinomial logit, Senegal

## INTRODUCTION

L'élevage est l'une des piliers de la sécurité et de la souveraineté alimentaire au Sénégal. Malgré la Covid-19, l'élevage est toujours considéré comme un des piliers de l'économie sénégalaise. Sa contribution au PIB national évaluée à 3,6 % ainsi que sa contribution à la croissance avec 0,1% pour un PIB qui a progressé de 6,4%, reste relativement faible par rapport au potentiel du secteur (ANSD, 2020). L'économie alimentaire est en pleine transformation en raison de l'accélération de l'urbanisation, l'amélioration croissante des revenus de la population. Selon les normes préconisées par l'Organisation des Nations Unis pour l'Alimentation (FAO) et l'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS), la quantité de protéines animales nécessaire pour chaque individu est de 42,9 kg/hab/an. Or, en Afrique subsaharienne la consommation *per capita* reste faible avec moins de 15 kg par habitant en 2018. L'approvisionnement de Dakar, principal marché d'écoulement national est assuré respectivement par les trois zones agro-écologiques du Sénégal que sont la Zone sylvopastorale (41,5% des entrées de bovins, ovins et caprins), la zone nord (26%) et le Bassin arachidier (10%), mais aussi par le Mali et la Mauritanie (10% et 6%) (Ministère de l'Élevage et de la production Animale, 2018). Les ménages s'approvisionnent sur les points de vente (étals marchés et quartiers ou les points de ventes améliorés). Ils sont demandeurs de viande plus diversifiée, mais aussi de qualité d'hygiène et sanitaire.

Le marché de la viande à Dakar demeure caractérisé par une offre diversifiée de produits carnés: viande bovine, viande ovine, viande caprine, viande de volaille et viande porcine.

Celle-ci se caractérise à la fois par un accroissement des quantités commercialisées et par de nouvelles exigences des acheteurs en termes de qualité. C'est ainsi, le choix de notre sujet porte sur «l'Analyse des déterminants du choix l'approvisionnement des ménages en viande à Dakar». La production locale de viande rouge se chiffrait à 151 461 tonnes contre 95 054 tonnes de viande blanche (Ministère de l'Élevage et de la production Animale, 2018). Les filières locales ont couvert à hauteur de 92% la demande de viande en 2017. Le reste a été satisfait par les importations qui ont atteint 20 951 tonnes, dont 12 656 tonnes en animaux sur pieds provenant des pays voisins et 8 295 tonnes de produits carnés composés d'abats et de viande de buffle. De nombreux risques s'exacerbent en termes de tensions alimentaires et d'insécurité alimentaire et nutritionnelle accrue ou même de conflits alimentaires causés par une flambée des prix de la nourriture. L'essor des grandes surfaces d'approvisionnement et de distribution que l'on constate déjà dans de nombreuses villes pourrait à terme peser sur la dynamique de la chaîne de valeur alimentaire. La dynamique en cours et les acteurs qui émergent incitent à définir de nouveaux modes de d'approvisionnement entre la réglementation et autres normes sanitaires. L'objectif de cette étude est de tester les corrélations entre facteurs socio-économiques et le choix d'approvisionnement des ménages en viande dans la région de Dakar. Il s'agit d'établir les facteurs qui influence de choix des ménages pour l'approvisionnement dans les lieux de ventes.

Aujourd'hui, la valorisation de la production par la labélisation et approvisionnement des marchés institutionnels en production passent par de nouvelles plate-formes d'appro-

<sup>1</sup> Département d'Économie, Université Alioune Diop de Bambey, Sénégal

<sup>2</sup> Cabinet Afrique Émergence Conseil, Dakar, Sénégal

visionnement. Cependant, la persistance de crises sanitaires et l'improbabilité de sa rémission rapide rendent les choix stratégiques très aléatoires. Ainsi, ces tendances permettent le développement de la chaîne de valeur, à la fois pour répondre aux évolutions rapides de la demande et de faire face aux défis sociaux et environnementaux. La justification à cette problématique du choix d'approvisionnement est née du constat des conséquences (sanitaires, sociales et économiques). Elles obligent à une révision des orientations et un rééquilibrage des choix stratégiques dans le système d'approvisionnement, en particulier de la chaîne de valeur de viande bétails (Ly, 2020). Ces tendances suscitent une question qui est de savoir: quels sont les déterminants de l'approvisionnement en viande des ménages à Dakar ?

Le système alimentaire est un moteur de développement. Il est naturel, pour quiconque s'intéressant aux enjeux du pastoralisme doit comprendre le dénouement cette chaîne de valeur. Des approches de mesure particulière qui se dégagent plus souvent dans la littérature empirique sont des statistiques descriptives. Ainsi, notre méthodologie intègre ici un choix non ordonné des lieux d'approvisionnement. L'approche économétrique utilisée dans l'étude est le modèle logit multinomial. L'article est structuré de la manière suivante. Après l'introduction, la première section expose la revue de la littérature théorique et empirique pour replacer l'approvisionnement de viande la théorie économique de la production et les principaux leviers de performances en approvisionnement en viande-bétails. La section 2 présente l'option économétrique (le logistique multinomial) et décrit également la zone d'étude et la source de données. La présentation des résultats ainsi que leurs discussions sera fait dans la section 3. Enfin, la conclusion propose les différentes remarques retenues pour les perspectives de la politique agricole.

## MÉTHODOLOGIE

### Spécification théorique et empirique du modèle Logit multinomial

À l'origine, les modèles Logit multinomial ont été introduits depuis la fin des années 60 par McFadden (1968), Theil (1969), Boskin (1974) et Schmidt et Strauss (1975) pour expliquer les choix d'une profession dans ses différentes perspectives. Par ailleurs, la spécification du modèle Probit multinomial pour les modèles de choix discrets ne nécessite pas l'hypothèse de l'AIJ (*Independance of Irrelevant Alternative*) (Hausman, 1984). Les différents lieu d'approvisionnement possibles sont répertoriées par  $j = 0, 1, \dots, h$ ; les variables explicatives pour chaque exploitant  $i$  est désigné par  $X = 1, 2, \dots, t$ .

Le modèle multinomial considère que chaque ménage  $i$  en fonction de son choix  $J$  perçoit une utilité  $U_{ij} = \beta_j X_{ij} + \varepsilon_{ij}$  ou  $\beta_j$

$X_{ij}$  est la partie déterministe de la fonction d'utilité et  $\varepsilon_{ij}$  la partie alternative  $j$  donnée (Thiombiano *et al.*, 2018). Soit  $Y_{ij}$  une variable qui prend la valeur 1 si l'individu choisi la pratique  $j$  et 0 sinon. Donc cette probabilité que le choix  $i$  du ménage se réalise est:

$$P(Y_{ij} = 1) = P(U_{ij} \geq U_{in} \text{ avec } j \neq n) \quad (1)$$

La probabilité pour qu'un exploitant  $i$  choisisse la pratique  $j$  est une fonction de ses caractéristiques telles que:

$$\text{Prob}(Y_i = j) = F(X_i \beta) = \frac{e^{\beta_j X_{ij}}}{\sum_{j=0}^h e^{\beta_j X_{ij}}} = \frac{e^{\beta_j X_{ij}}}{1 + \sum_{j=1}^h e^{\beta_j X_{ij}}} \quad (2)$$

Toutefois, cette indétermination peut être levée par la simple normalisation du vecteur de paramètres de l'une des modalités. Ainsi, en normalisant à 0 le coefficient  $\beta_j$  obtenu pour la première modalité tel que  $\beta_0 = 0$ , on peut alors écrire:

$$\text{Prob}(Y_i = 0) = \frac{1}{\sum_{j=0}^h e^{\beta_j X_{ij}}} = \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^h e^{\beta_j X_{ij}}} \quad (3)$$

Tout comme le modèle Logit ordonné, l'estimation du modèle Logit multinomial (non ordonné) utilisée plus couramment la méthode du maximum de vraisemblance. L'estimateur est doté de propriétés d'efficacité et de normalité asymptotique et que les observations sont indépendantes et distribuées de façon identique. La fonction de Log vraisemblance s'écrit:

$$\text{Log L}(Y, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^k Y_{ij} \text{Log}[\text{prob}(Y_i = j)] \quad (4)$$

Avec  $Y = 0, Y = 1, Y = 2, Y = 3, \text{ et } Y = 4$

Les  $\beta_j$  constituent les paramètres à estimer, avec  $j$  allant de 0 à 3 marchés.  $i$  est compris entre 1 à 500 consommateurs. La spécification empirique du modèle s'écrit:

$$\text{mlogit lieu}_i = \alpha_0 + \alpha_1 \text{Age}_i + \alpha_2 \text{Typ\_cons}_i + \alpha_3 \text{CSP}_i + \alpha_4 \text{Zon\_res}_i + \alpha_5 \text{Rai\_ach}_i + \alpha_6 \text{Crit\_vian}_i + \alpha_7 \text{Prox\_lieu}_i + \alpha_8 \text{Frec\_cons}_i + \alpha_9 \text{Per\_ach}_i + \alpha_{10} \text{Prov\_via}_i + \alpha_{11} \text{Quant}_i + \alpha_{12} \text{Dep\_Con}_i + \alpha_{13} \text{Prix}_i + \varepsilon_{ij}$$

Les  $\alpha_j$  sont les paramètres du modèle. Le lieu constitue la variable dépendante qui comprend 4 modalités. Les effets marginaux sont obtenus en dérivant les probabilités par rapport aux variables explicatives (Tableau 1).

### Présentation source de données et zone d'étude

Les données de recherches de cet article sont le fruit des enquêtes de terrain réalisées dans cadre du une étude sur le marché de la viande (Ad Conseil/Pdmas) et de l'étude sur les tendances actuelles et les principaux déterminants de la demande du détail et de La viande dans pays importateurs-cas du Sénégal en 2018. À travers un choix raisonné, notre étude porte sur un échantillon de 500 ménages repartis sur Médina, Yoff/Ouakam, Sicap, Zone de résidence, Dakar plateau et la Banlieue, etc).

Tableau 1: Signification des variables des modèles

Variables	Signification	Variables	Signification
Typ_Cons	Type de viande	Perio_achat	Période d'achat
CSP	Catégorie socio-professionnelle	Prov_Esp_Vian	Provenance de la viande
Zon_Res	Zone de résidence	Quant_Via	Quantité de viande
Rai_Ach_Soci	Raison achat socio-économique	Dep_cons	Dépense consommation
Crit_Viande	Critère de la viande	Prix_Vian	Prix de la viande
Prox_lieu	Proximité du lieu de vente	Lieu 1	Étal quartier
Frec_Cons	Fréquence de consommation	Lieu 2	Boucherie moderne
Lieu 0	Étal marché	Lieu 3	Supermarché

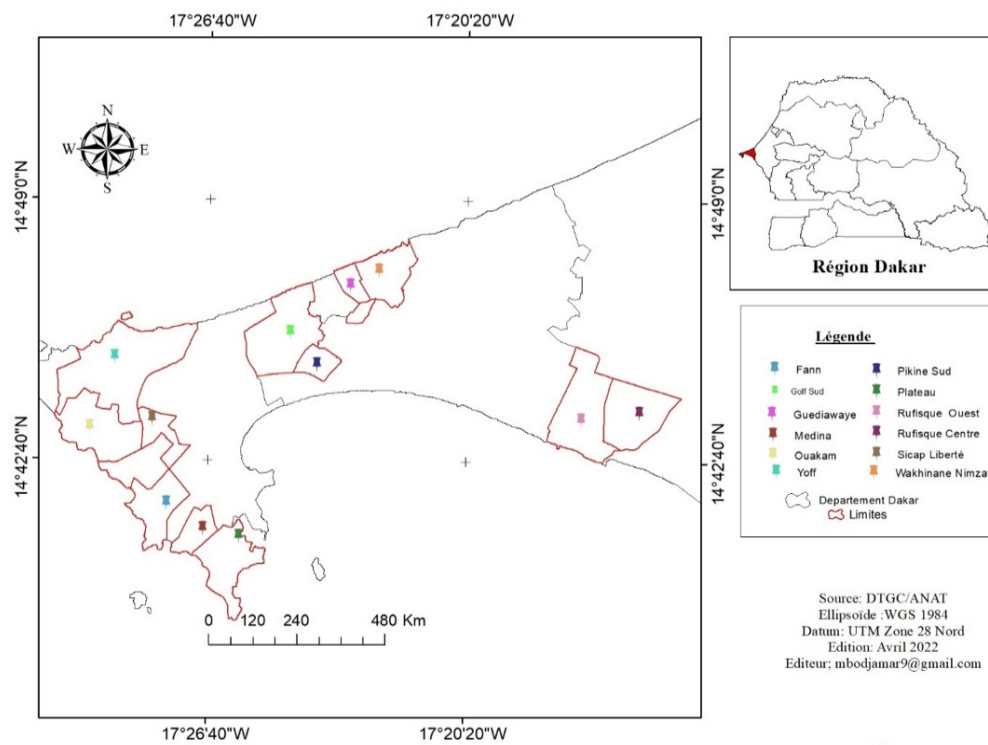


Figure 1: Présentation de la zone d'étude

Tableau 2: Statistiques descriptives des variables continues

Variables	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum
Quantité de viande	1,8	1,2	0	7
Dépense consommation	298 284	236 011	48 507	3 307 445
Prix moyen	2239	444	1200	3000

Tableau 3: Statistiques descriptives des variables qualitatives

Variables	Description des	Proportion dans l'échantillon
Age	2 : 25 à 36	63%
	3 : 37 à 50	7%
	4 : plus 50 ans	30%
Lieu d'achat	0 : Étals marché	30%
	1 : Étals quartier	10%
	2 : boucheries modernes	40%
	3 : Super marchés	10%
Fréquence de consommation	1 : 1 à 2 fois par semaine	18.47%
	2 : 3 à 6 fois par semaine	49.80%
	3 : chaque jour	31.73%
Type de viande	1 : Bovine	70%
	2 : Ovine	18%
	3 : Volaille	12%
Catégorie Socio-Professionnelle	1 : Modeste	62%
	2 : Aisée	38%
Zone de résidence	1 : Banlieue	52%
	2 : quartier résidentiel	48%
Raison achat socio-économique	1 : Bonne qualité	24%
	2 : Disponibilité	44%
	3 : Bon prix	32%
Critère de la viande	1 : Fraîcheur	28%
	2 : bonne tendresse	61%
	3 : Saveur	11%
Critère d'achat	1 : Proximité	43%
	2 : Prix	37%
	3 : Bonne vendeurs	20%
Période de consommation	1 : 1 à 2 fois/ Semaine	30%
	2 : 3 à 6 fois/ Semaine	42%
	3 : Chaque jour	28%

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le tableau 4 présente les résultats de l'estimation du modèle Logit multinomial des déterminants du choix d'approvisionnement. La probabilité associée à la valeur de  $\text{Prob} > \chi^2$  est de 0.0000. Ce qui démontre que le modèle est globalement significatif. Le test de Wald confirme que la probabilité est inférieure à 5% les coefficients du modèle sont significatifs. De même le test du rapport de vraisemblance montre que la plus-value (pval) est égale à 0, ce qui signifie que les erreurs suivent la loi normale. Le test de prédiction des probabilités montre qu'il y a pas une variabilité des variables du choix d'approvisionnement et des fréquences réelles. Le lieu d'approvisionnement des étals de marché constitue la base de références car l'accessibilité est plus facile pour les ménages.

Le développement des circuits de proximité répond à une véritable attente d'un nombre croissant de consommateurs. Il apparaisse peu probable que ceux-ci remettent en cause dans les prochaines années l'hégémonie de la grande distribution. À cet égard, on observe chez celle-ci une volonté de se positionner sur les approvisionnements de proximité autant pour des raisons de marketing et d'image que pour favoriser la dimension locale de l'activité du producteur.

L'analyse des coefficients se fait par la Ratio, Risque et Relatif par rapport aux accès des étals de marchés. Les résultats de l'estimation montrent que les types de consommation notamment pour la plupart des plats modernes augmentent les chances de s'approvisionner à 4,35 dans les boucheries modernes et de 26,6 dans les supermarchés par rapport aux étals de marchés. Les politiques d'encouragement à la consommation visent à maintenir les traditions culinaires (Mouhousn *et al.*, 2021). Il est important de considérer non seulement la compatibilité en termes de volumes purs. Mais aussi il intègre d'autres critères pertinents tels que le contrôle de la qualité et les normes de surveillance le long de la chaîne d'approvisionnement dans son ensemble. D'autres considérations sont la disponibilité des infrastructures de stockage pour répondre à la demande plutôt stable sur toute l'année et la compatibilité

du produit. Les habitudes alimentaires se tournent plus vers des plats culinaires inspirés des occidentaux.

La variable catégorie socio-professionnelle diminue les chances des s'approvisionner dans les boucheries modernes de 1,73. Dans la plupart s'il s'agit des ménages à revenu modeste et augmente les chances de 8,33 dans les super marché pour des ménages aisés comparativement à l'approvisionnement dans les étals de marché. Il ressort de l'observation du comportement des consommateurs que la hausse des revenus incite à consommer davantage d'aliments de valeur, notamment des protéines animales, au détriment d'autres comme le glucide. Ce fait indique que le niveau de revenu pourrait entraîner une consommation accrue de viande. Ces résultats sont corroborés par Caillavet *et al.*, (2019) et Mouhousn *et al.*, (2021) qui montre que la régularité de la catégorie socio-professionnelle est liée au record de viande achetée. Dans les pays émergents, on observe simultanément une accentuation des spécificités culinaires chez les classes supérieures d'où l'augmentation de la consommation carnée en Chine et même en Inde (Grosclaude *et al.*, 2019).

Dans ce schéma, les raisons d'achat socio-économiques augmentent les chances de s'approvisionner dans les supermarchés de 5,4 du point de vue des zones résidentielles, mais aussi diminue les chances de s'approvisionner dans les boucheries modernes de 6,63 à cause du niveau des prix et les quantités à consommer et de ses qualités sensorielles comme la saveur, la jutosité et la tendreté par rapport à au recours des étals de marché (Teixeira *et al.*, 2019). L'explication réside ici dans les motivations observées précédemment autour de la recherche de produits locaux comme gage de qualité. Pour que l'investissement dans l'hygiène et la qualité soit rentable, il faut assurer un débouché, et donc un nombre important de consommateurs prêts à payer plus cher pour une viande de qualité. La viande et les volailles peuvent-être sans crainte encore présente sur la chaîne du froid jusqu'au retrait de la commande. Elles sont plébiscitées par les acheteurs les plus réguliers, comme une illustration d'une confiance plus marquée dans l'offre du drive fermier (Deprez, 2019).

**Tableau 4: Résultats de l'estimation du Logit multinomial**

Lieux d'achat Variables	Étal quartier		Boucherie moderne		Supermarché	
	RRR	Prob	RRR	Prob	RRR	Prob
Age	1,453	0,396	1,270	0,528	3,352	0,107
Typ_Cons	0,933	0,910	4,359*	0,054	26,654**	0,006
CSP	0,207	0,113	-1,735**	0,008	4,8090	0,002
Zon_Res	1,750*	0,084	7,997***	0,000	8,331***	0,000
Rai_Ach_Soci	1,424	0,358	-6,639***	0,000	5,404**	0,009
Crit_Viande	0,129**	0,002	-0,369	0,163	-0,570**	0,017
Prox_lieu	0,100**	0,034	0,522	0,526	14,958	0,109
Frec_Cons_	0,111**	0,017	-0,3280**	0,001	0,070**	0,019
Perio_achat	0,838	0,802	-2,463	0,221	-6,379	0,287
Prov_Esp_Vian	7,932**	0,006	1,886	0,394	4,658	0,129
Quant_Via	-1,310	0,328	-1,002	0,995	-0,114**	0,029
Dep_cons	4,667*	0,065	1,541**	0,005	32,742**	0,011
Prix-viande	8,543*	0,084	-0,344***	0,003	28,887*	0,054
Constant	8,071**	0,036	1,361**	0,029	7,794**	0,004
Nombre observation	500		Prob chi2	0.0000		
Pseudo			=	0.6076		
LR chi2			=	231.03		

Niveaux de significativité : \* :10%, \*\* :5%, \*\*\* : 1%

Les fréquences de consommation, notamment pour les consommations de 3 à 6 fois dans la semaine, augmente les chances de s'approvisionner dans les étals de quartier de 0,11 et de 0,07 dans les boucheries modernes. Mais aussi, les fréquences de consommation diminuent les chances d'approvisionnement dans boucherie moderne de 0,32 pour la plupart avec des revenus modestes par rapport au étals de marchés. L'adaptation du menu avec la production locale peut augmenter l'utilisation de produits alimentaires et frais (fruits et légumes), améliorer la valeur nutritionnelle des repas et également réduire l'impact de la variabilité saisonnière entre l'offre et la demande. Selon Mankor (2009), la diversification de la consommation est favorisée par la diversité ethnique et culturelle de la population en fonction de la fréquence de consommation sur dans les étals de quartier.

Les dépenses de consommation jouent un rôle significatif sur les lieux d'approvisionnement. Elles augmentent les chances de s'approvisionner de 4,66 et 1,55 respectivement dans étals de quartier et les boucheries modernes. Contrairement, au super marché elle diminue les chance d'approvisionnement de 32,7 comparativement aux étals de marchés. Dans les pays à hauts revenus, la fonction alimentaire n'occupe plus qu'une petite part des dépenses et du temps des ménages. L'augmentation du revenu permet l'achat de viande, une source de calories et de protéines plus onéreuse. Elle s'accompagne d'autres changements structurels, tels que la montée de l'urbanisation, la hausse du taux d'activité et l'accroissement des dépenses de restauration, qui favorisent eux aussi la consommation de viande. Ces résultats sont corroborés par Sans *et al.*, (2015) qui montrent que les dépenses de consommation ont un effet positif sur les lieux d'approvisionnement.

Le niveau des prix de la viande augmente aussi les chances de s'approvisionner dans les étals de quartier de 8,54, surtout pour les ménages avec des revenus modestes et une fréquence de consommation très élevée et de 28,9 dans les supermarchés. Les prix des viandes, notamment les viande de mouton, diminue les chances de s'approvisionner dans les boucheries modernes de 0,34 par rapport au étals de marchés. De fortes disparités régionales et nationales des régimes alimentaires et le développement agro-industriel sont favorisés par la modification des rapports de prix et la substitution des viandes blanches aux viandes rouges (Chatellier, 2019). Ces résultats sont en phase avec les travaux de Legendre (2018) qui montre de le principal déterminant dans le choix des lieu d'approvisionnement reste le prix. Ceci montre l'importance d'une réflexion sur adéquation entre l'offre de et la demande en viandes au niveau des lieux d'approvisionnement. Les travaux sur la segmentation des consommateurs montrent qu'environ la moitié de la population est très sensible à l'effet prix et recherche les protéines les moins chères (Grosclaude *et al.*, 2019).

## CONCLUSION

Cette étude a pour objectif d'analyser les déterminants de l'approvisionnement de viande des ménages de Dakar à l'aide du modèle logit multinomial. Les résultats montrent que la zone de résidence, le type de consommation, la fréquence de consommation, le type et la fréquence de consommation, les critères de la viande, la provenance et les dépenses de consommation augmentent les chances de

s'approvisionner dans les états de quartier, des boucheries modernes et des supermarchés. Cependant, la catégorie socio-économique, la fréquence d'achat, le prix les raison d'achat et la quantité de viande impactent négativement l'approvisionnement dans les boucheries modernes. Le modèle d'organisation de l'approvisionnement de l'agglomération de Dakar nécessite la mise en place d'un marché concrètement équipé avec des logistiques de froid pour assurer une quantité suffisante de viandes aux ménages.

Toutefois, ces analyses débouchent sur des perspectives dans le but de mieux cerner le commerce de viande pour toutes les villes dans le contexte de décentralisation et d'urbanisation accélérée au Sénégal. Ce qui ne manquerait pas d'induire une dynamique durables et croissante de la chaîne de valeur dont les avantages ne tarderaient pas ce se faire ressentir à la fois par les éleveurs et aussi à l'échelle macro-économique. Une réflexion sur la filière viande est nécessaire afin d'appréhender les compétitions qui peuvent exister dans la filière.

## RÉFÉRENCES

- Aeppli M., Finger R. (2013). Determinants of sheep and goat meat consumption in Switzerland. *Agricultural and Food Economics*, 1:11.
- Arfa N.B., Daniel K., Rodriguez C., Shonkwiler S.J. (2011). Spatial structure of agricultural production in France: the role of the Common Agricultural Policy. *Disaggregated Impacts of CAP Reforms*, 285p.
- Boskin M. (1974). A conditional logit model of occupational choice. *Journal of Political Economy* 82: 389–98.
- Caillavet F., Darmon N., Létouche F., Nichèle V. (2019). Quatre décennies d'achats alimentaires: évolutions des inégalités de qualité nutritionnelle en France, 1971-2010. *Économie et Statistique/Economics and Statistics*, 513: 69-89.
- Chatellier V., Dupraz P. (2019). Les performances économiques de l'élevage européen: de la «compétitivité coût» à la «compétitivité hors coût». *INRAE Productions Animales*, 32: 171–188.
- Cheyens E. (2000). Construction de la qualité et institutions professionnelles: application au secteur artisanal alimentaire urbain en Afrique. CIRAD.
- Chia R. (2014). *Organizational analysis as deconstructive practice*. Berlin, Boston: De Gruyter.
- Combe E., Mucchielli J. L. (2011). La compétitivité par la qualité. Fondapol, Fondation pour l'innovation politique.
- Dourmad J., Delaby L., Boixadera J.L., Ortis C., Méda B., Gaigné C., Dumont B. (2017). Diversité des services rendus par les territoires à forte densité d'élevages: trois cas d'étude en Europe. *INRAE Productions Animales*, 30: 303–320.
- Deprez S. (2019). L'approvisionnement alimentaire des ménages: de nouvelles hybridations portées par le numérique, des pratiques d'achats et de consommation redéfinies par le commerce connecté. *Géocarrefour* (En ligne), 93(2).
- Fleury P., Houdart M., Lasseur J., Baritoux V., Chazoule C., Corniaux C. (2018). Gestion de l'environnement et valorisation des produits de l'élevage de montagne au regard de la théorie des communs. *Géocarrefour* (En ligne), 92(3).
- Grosclaude J., Hébel, P., Allo C., Digard J.P., Bertrand H. (2019). Les déterminants socio-culturels de la baisse de la consommation de viande et les réponses des politiques publiques et des filières. *Viandes & Produits Carnés: VPC-2019-35-2-3*.
- Just D.R., Gabrielyan G. (2016). Why behavioral economics matters to global food policy. *Global Food Security*, 11: 2633.
- Mankor A. (2009). Consommation urbaine de viandes en Afrique de l'Ouest: l'exemple de Dakar. *Grain de sel*, 46-47: 16-17.
- Schmidt P., Strauss R.P. (1975). The prediction of occupation using multiple logit models. *International Economic Review*, 16: 471–86.



Lavoie-Deraspe F. (2017). Une taxe sur la viande pour ralentir les changements climatiques ? Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec.

Ly (2020). Aviculture et Covid-19 au Sénégal Situation et perspectives. *Note d'information et d'analyse*, IPAR, 43 p.

McFadden D. L. (1984). Econometric analysis of qualitative response models. *Handbook of econometrics*, 2:1395-1457.

Mouhous A. Hocine F.J., A. Kadi (2021). Les déterminants de la consommation de la viande caprine en Algérie, cas de la région de Tizi-Ouzou. *Viandes & Produits Carnés*.

Nallet C. (2018). De nouveaux lieux de consommation pour de nouvelles classes moyennes ? Les centres commerciaux à Abidjan, Notes de l'Ifri.

Strauss D. (1979). Some results on random utility model. *Journal of Mathematical Psychology*, 20: 35-52.

Sans P., Combris P. (2015). Modèles de consommation de viande dans le monde: un aperçu des cinquante dernières années (1961-2011). *Science de la viande*, 109: 106-111.

Teixeira A., Silva S., Rodrigues S. (2019). Advances in sheep and goat meat products research. *Advances in Food and Nutrition Research*, 87: 305-370.

Theil H. (1969). A multinomial extension of the linear logit model. *International Economic Review*, 10: 251-259.

Weiss C.R. (2001). On flexibility. *J. Econ. Behav. Organization*, 46: 347-356.

# Évaluation des approches et techniques de gestion durable des terres dans le Rif Oriental

Ayoub ATTOU<sup>1</sup>, Mohamed SABIR<sup>2</sup>, Mustapha NAIMI<sup>1</sup>, Mohamed CHIKHAOUI<sup>1</sup>, Othman MACHRAFI<sup>2</sup>

(Reçu le 23/08/2022; Accepté le 12/10/2022)

## Résumé

Le Rif Oriental souffre d'une dégradation accrue qui menace la pérennité de toutes ses ressources naturelles. Cependant, aucune donnée d'évaluation scientifique et précise de la dégradation n'est disponible à cette échelle. Pour ce fait, il a fallu développer un modèle d'évaluation de cette dégradation, basé sur l'application de la méthode LADA/WOCAT afin de mieux quantifier la dégradation au niveau du Rif Oriental et produire les éléments nécessaires d'aide à la décision. La dégradation des terres couvre tout le territoire Rifain avec des proportions différentes selon le type de dégradation, dont l'érosion hydrique est au premier rang avec 81%. L'analyse spatiale a pu démontrer que seulement 4% du territoire est occupé par des pratiques de gestion durable des terres. Cependant, les pratiques agricoles traditionnelles et les pratiques de conservation des terres à effet localisé et qui présentent le plus faible niveau d'efficacité couvrent 80% du territoire. L'impact le plus marquant au niveau du Rif Oriental est celui sur la productivité des terres sur 76% de l'ensemble du territoire. Cet impact a pour force motrice plusieurs causes directes et indirectes, à savoir une pression démographique où le problème de pauvreté présente un taux élevé avoisinant les 70%, un problème de gouvernance qui touche 22% du territoire rifain et une déforestation de 19%, qui présente un sérieux problème, surtout dans les régions où la cannabiculture prend place. Cependant, et afin de préserver les terres au niveau du Rif Oriental, il serait judicieux de renforcer, voire former des capacités humaines en matière de lutte contre la dégradation des terres tout en impliquant la population autochtone au développement des pratiques de gestion durable des terres plus efficaces et durables dans le temps et dans l'espace.

**Mots clés:** Dégradation des sols, pratiques de gestion durable des terres, LADA/WOCAT, Rif Oriental

## Evaluation of sustainable land management approaches and techniques in Eastern Rif region

### Abstract

The Eastern Rif region suffers from increased degradation which threatens the sustainability of all its natural resources. However, no scientific and precise assessment data on degradation is available at this scale. For this, it was necessary to develop a model for evaluating this degradation, based on the application of the LADA/WOCAT method in order to better quantify the degradation at the level of the Eastern Rif and produce the necessary elements for decision support. Land degradation covers the entire Rif territory with different proportions depending on the type of degradation, of which water erosion ranks first with 81%. The spatial analysis was able to demonstrate that only 4% of the territory is occupied by sustainable land management practices, however traditional agricultural practices and localized effect land conservation practices which present the lowest level of effectiveness, cover 80% of the territory. The most significant impact in the Eastern Rif is the impact on land productivity on 76% of the entire territory. This impact is driven by several direct and indirect causes, namely demographic pressure where the problem of poverty presents a high rate of around 70%, a problem of governance which affects 22% of the Rif territory and deforestation with 19%, which presents a serious problem especially in regions where cannabis cultivation takes place. However, and in order to preserve the land in the Eastern Rif, it will be wise to strengthen and train human capacities for action against land degradation while involving the native population in the development of more effective sustainable land management practices, durable in time and space.

**Keywords:** Soil degradation, sustainable land management practices, LADA/WOCAT, Eastern Rif

## INTRODUCTION

Le sol est la composante la plus essentielle et la plus limitée des ressources terrestres, ce qui signifie que sa perte et dégradation n'est pas récupérable au cours d'une vie humaine. C'est aussi la source de tout développement agricole et durabilité écologique. Offrant plusieurs services écosystémiques essentiels, il représente donc une ressource naturelle très précieuse, d'où la nécessité d'une bonne gestion durable de cette ressource.

A l'échelle du Maroc, la dégradation des terres a une ampleur plus large que l'érosion ou même la dégradation des sols; parce qu'elle recouvre toutes les modifications négatives dont la capacité de l'écosystème à produire des biens et services mais aussi des biens et services économiques et sociaux liés à la terre. Ce phénomène affecte de grandes étendues, surtout quand en zone à climat aride et semi-aride qui concerne plus de 93% du territoire marocain (Ghanam, 2003) avec des cycles de sécheresse de plus en plus longs, où les terres sont pauvres et très vulnérables à la dégradation. Sans oublier, la précarité des conditions de vie

des populations autochtones qui favorise la surexploitation des ressources naturelles, ce qui amène à une amplification de la dégradation terres. Ces deux facteurs engendrent la fragilité et la pauvreté des sols, dues essentiellement à une faible teneur en matière organique affectée de plus en plus par des utilisations incompatibles avec les principes de conservation, et une pression démographique qui ne cesse d'augmenter (Ghanam, 2003).

Pour cela et afin d'atténuer la dégradation, des chercheurs ont développé une nouvelle stratégie afin de répondre aux besoins essentiels des paysans, tout en valorisant la terre et le travail, en augmentant les revenus des paysans et en améliorant le capital forestier et l'environnement rural. Cette stratégie a été appelée «Gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols» (GCES) (Shaxson *et al.*, 1989; Hudson, 1991; Roose, 1987 et 1994). Il s'agit d'atteindre un double objectif, doubler la production chaque vingt ans tout en améliorant l'environnement rural, plus précisément en réduisant les risques d'érosion et de ruissellement sur les terres fragiles. Cela peut être possible par le

<sup>1</sup> Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc

<sup>2</sup> École Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé, Maroc

diagnostic et l'évaluation des causes relatives à la dégradation et la mise au point de systèmes de production durables et d'amélioration des propriétés physiques et chimiques des sols afin d'améliorer la nutrition des plantes.

Cependant, cette évaluation n'est pas tout à fait complète et précise, car tous les jugements apportés à ce phénomène restent basés sur des qualifications faites par des géographes durant les années 70 et 90 (Laouina *et al.*, 1994; Heusch, 1971). Elle est aussi bien loin d'être quantifiable, et donc, ne peut pas donner des idées sur l'évolution ou même sur la répartition géographique de cette dernière. Même chose pour le PAN-LCD (Programme d'Action National de Lutte Contre la Désertification) qui utilise une approche abrégée basée sur des modèles experts, dont les résultats restent qualitatifs tout en proposant des actions à l'échelle nationale qui ne sont pas toutes adéquates, car elles ne tiennent pas compte des spécificités régionales.

Pour cela, il a fallu chercher d'autres méthodes plus réalistes pour évaluer la dégradation des terres basées sur leurs potentiels, leurs occupations et leurs modes d'utilisation, tout en améliorant les bonnes pratiques de gestion durables des terres qui reste sans doute le moyen le plus efficace de lutte, d'atténuation et d'adaptation aux effets des fluctuations climatiques.

La Gestion Durable des Terres (GDT) se focalise sur l'augmentation de la production et de productivité des agro-écosystèmes en s'adaptant aux contextes socio-économiques, à savoir l'amélioration de l'adaptation aux conditions environnementales et aux fluctuations climatiques, tout en prévenant la dégradation des ressources naturelles. C'est pour cette raison qu'un projet d'aide à la décision pour l'intégration et l'extension de la gestion durable des terres devrait être applicable à des échelles plus grandes, notamment régionale et locale.

Dans ce contexte, les approches produites par la FAO et le WOCAT ont données des résultats intéressants dans plusieurs pays. Ainsi, la FAO encourage les pays touchés par la désertification à standardiser leurs méthodes d'appréhension de ses facteurs et des techniques de lutte les plus efficaces. En ce sens, la méthode LADA/WOCAT a reçu une attention particulière de la part de plusieurs pays, notamment africains.

C'est ainsi que ce travail se fixe comme objectif d'appliquer la méthode LADA/WOCAT dans le Rif Oriental en vue de produire les éléments nécessaires d'aide à la décision pour une meilleure efficacité de l'action publique en matière de Lutte Contre la Désertification (LCD). L'objectif global est d'évaluer la dégradation des terres à l'échelle de la région du Rif Oriental en utilisant la méthode LADA-QM, d'une part, et de diagnostiquer les approches et techniques de gestion durable des terres, les impacts et les causes de la dégradation d'autre part.

## MATÉRIELS ET MÉTHODES

### Zone d'étude

Bordée par la Méditerranée au Nord et la plaine du Saïss au Sud, limitée par le Rif occidental à l'Ouest et par la frontière avec l'Algérie à l'Est, le Rif Oriental prend la forme d'un énorme polygone, allongé sur plus de 300 km parallèlement à la direction méridienne. Elle s'étend sur 1,97 million d'hectares, ce qui représente 2,8 % environ du territoire national.

Selon le Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 2014, la Région compte 1.961.092 habitants dont 65,4% sont urbains, taux relativement élevé par rapport au taux national (60,4%); la densité est de 99 habitants au km<sup>2</sup>, très supérieur de la moyenne nationale (47,6 hab./km<sup>2</sup>) (RGPH).

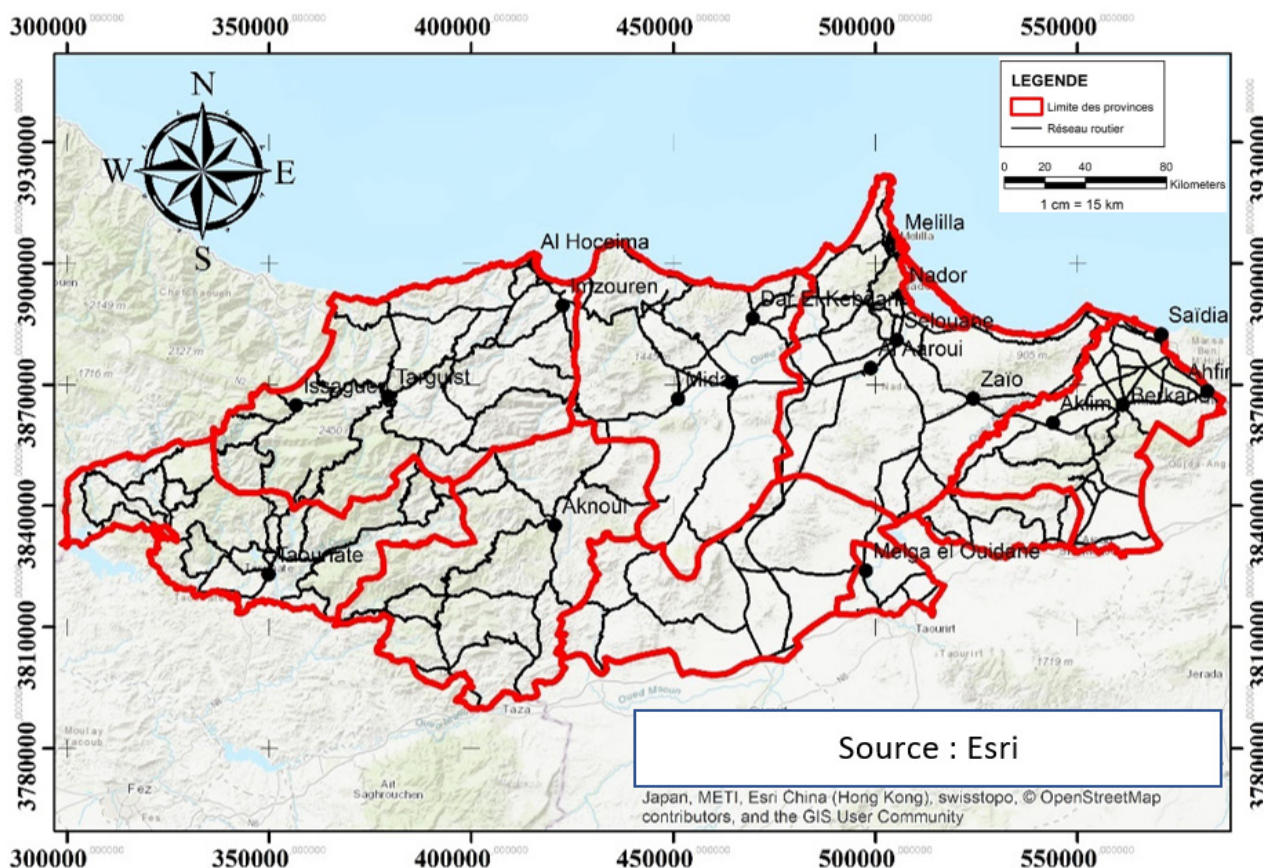


Figure 1: Découpage administratif du Rif Oriental

La Région du Rif Oriental regroupe sur le plan administratif 18 provinces: Berkane, Taourirt, Driouch, Guercif, Hocaima, Taounate, Taza et Nador.

Le Rif Oriental est presque totalement compris dans la zone aride et semi-aride. L'aridité, augmente rapidement vers le Sud et vers l'Est, déterminant la faiblesse et la grande irrégularité des précipitations, ainsi que des contrastes thermiques accusés responsables d'une forte évaporation.

Le climat du Rif Oriental est caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers frais et humide; les précipitations se limitant presque exclusivement à la période hivernale dans la partie Est. Quant à la partie ouest, la pluviométrie moyenne varie entre 1800 mm dans les massifs montagneux et 600 mm sur les hauts bassins du Rif à l'est de l'Oued Ouringa. Les températures restent en général clémentes en hiver, douces en été, aussi bien sur les côtes qu'en altitude.

Les données géologiques (ressources minières), morphologiques, climatiques (les précipitations annuelles allant de 1500 mm, pour descendre à 200 dans la partie sud est de la région) et hydriques, favorisent grandement la partie Nord-est et surtout Nord de la région, littorale et sublittoral. Cette région bénéficie des ressources en eau appréciables, du climat tempéré, facteurs dont la combinaison a permis une installation humaine dense et a facilité le développement d'activités économiques diversifiées, d'autant plus que le relief n'y oppose pas d'obstacles sérieux à la circulation et aux échanges.

### Méthodologie

Suite aux efforts déployés par la FAO, plusieurs programmes ont vu le jour afin d'évaluer et d'établir une carte nationale d'état de dégradation des terres à une échelle plus détaillée que la carte mondiale. Notre étude sur l'évaluation de l'état de dégradation des terres s'inscrit donc dans ce contexte international tout en suivant les recommandations de la FAO afin de contribuer à mieux évaluer l'état actuel de dégradation des terres résultant des activités humaines dans notre pays et plus précisément dans la zone du Rif Oriental.

Toutefois, une cartographie des occupations du sol et des systèmes d'utilisations des terres sera la base de notre travail, afin d'évaluer cette dégradation, identifier ses causes et ses conséquences tout en gardant à l'esprit les approches et les techniques de gestion durable des terres qui marquent le plus notre zone d'étude.

### Données utilisées

Afin de mieux évaluer la dégradation des terres au Rif Oriental, une combinaison des trois données (zones protégées, type d'occupation des sols caractérisée par des propriétés (biophysiques et socio-économiques) et degré de pression pastorale délimité par unités administratives) permettra d'avoir une carte du système d'utilisation des terres au niveau de la zone d'étude.

Pour ce faire on se basera sur le programme Landsat, étant le premier programme spatial d'observation de la surface terrestre destiné à des fins civiles. Développé par l'agence spatiale américaine (NASA) il va nous permettre de récolter, superposer, ou même de traiter les images afin d'extraire un système d'utilisation des terres (LUS) robuste et fiable, considéré comme l'unité de base de l'évaluation et de la cartographie.

Pour pouvoir élaborer la carte du degré de pression pastorale on aura recours aux données des effectifs du cheptels à l'échelles des communes, ces derniers seront collectés à partir des Directions Provinciales de l'Agriculture de notre zone d'études à savoir «El Hoceima, Guercif, Driouch, Taourirt, Taounate, Taza, Nador et Oujda».

Les données des zones protégées quant à eux, seront directement collectées sous format «shp» de la Direction du Développement Forestier de Rabat.

### Questionnaire LADA - WOCAT (QM)

Le questionnaire pour la cartographie de la GDT «QM» (Annexe 1), a été conçu pour analyser et décrire la répartition spatiale de la gestion durable des terres ainsi que le processus, les causes et les effets de la dégradation des terres (LADA-WOCAT).

Pour ce fait des Interviews semi structurés ainsi que des ateliers sont organisés par provinces afin de tirer l'information nécessaire à l'évaluation des différentes manifestations de dégradations.

### Cartographie de l'état actuel des utilisations de terres

La carte du système d'utilisation des terres (LUS) est l'unité de base de l'évaluation Nachtergaele *et al.*, (2007). Cette dernière est disponible à une échelle mondiale, mais devrait être affinée et ajustée au niveau national et régional, afin de fournir, décrire et évaluer toutes les données concernant la dégradation et la conservation des terres. Ces unités de base (LUS), contiennent un ensemble de renseignements (biophysiques et socio-économiques) liées aux pratiques d'utilisation des terres qui sont les principales causes de la dégradation des terres.

Mais avant de parler utilisation des terres, on doit traiter et analyser les occupations du sol de chaque zone homogène, le coupler en fonction de l'utilisation de ce dernier (zone protégée et Degré de pression pastorale), afin d'obtenir un système d'utilisation des terres. A son tour une autre couche administrative sera appliquée afin d'avoir une carte synthétisant l'ensemble des facteurs qui définissent notre région de point de vue territoire.

### Carte d'occupation de sol

Pour ceci, une méthodologie qui s'appuie sur les traitements des images satellitaires et sur la classification supervisée serait obligatoire tout en respectant les classe prédéfinies par LADA-WOCAT (Tableau 1).

**Tableau 1: Nom de la classe d'occupation**

ID de la classe d'occupation	Nom de la classe d'occupation
1	Forêt
2	Parcours
3	Arbustes
4	Plantation
5	Bour
6	Agriculture irriguée
7	Habitat
8	Terrain peu productif
9	Zone d'eau

**Cartes de la pression pastorale**

L'élaboration de la carte du degré de pression pastorale a été basé sur l'effectif du cheptel par unité de petit bétail et par superficie de chaque commune en se basant sur la formule suivante:

$$DP = (UPB= 1 \times nb \text{ ovin} + 1,2 \times nb \text{ caprin} + 1/2,5 \times nb \text{ équidé} + 1/5 \times nb \text{ bovin}) / Superficie$$

Après avoir calculé le degré de pression pastorale de chaque commune, il a fallu le classer puis le cartographier selon quatre classes en se basant sur la rasterisation du shapefile (shp) des communes tout en affectant la codification suivante:

- 0 —————> DP < 1: faible;
- 1 —————> 1 < DP < 1,5: modérée;
- 2 —————> 1,5 < DP < 2,5: élevée;
- 3 —————> DP > 2,5: très élevée.

**Cartes des zones protégées**

Pour la carte des zones protégées il a fallu fusionner tous les «shp» des zones protégées existantes dans la zone d'études, à savoir les parcs nationaux et les aires protégées, tout en affectant la valeur 1 à ces derniers pour pouvoir les différencier de la partie non protégée du terrain:

- 0 —————> zone non protégée;
- 1 —————> zone protégée.

**Carte des systèmes d'utilisation des terres**

En se basant sur la méthodologie LADA - WOCAT (Nachtergaele et Petri, 2011), on a pu intégrer l'occupation des sols, les zones protégées et le degré de pression pastorale afin de générer une carte d'utilisation des terres.

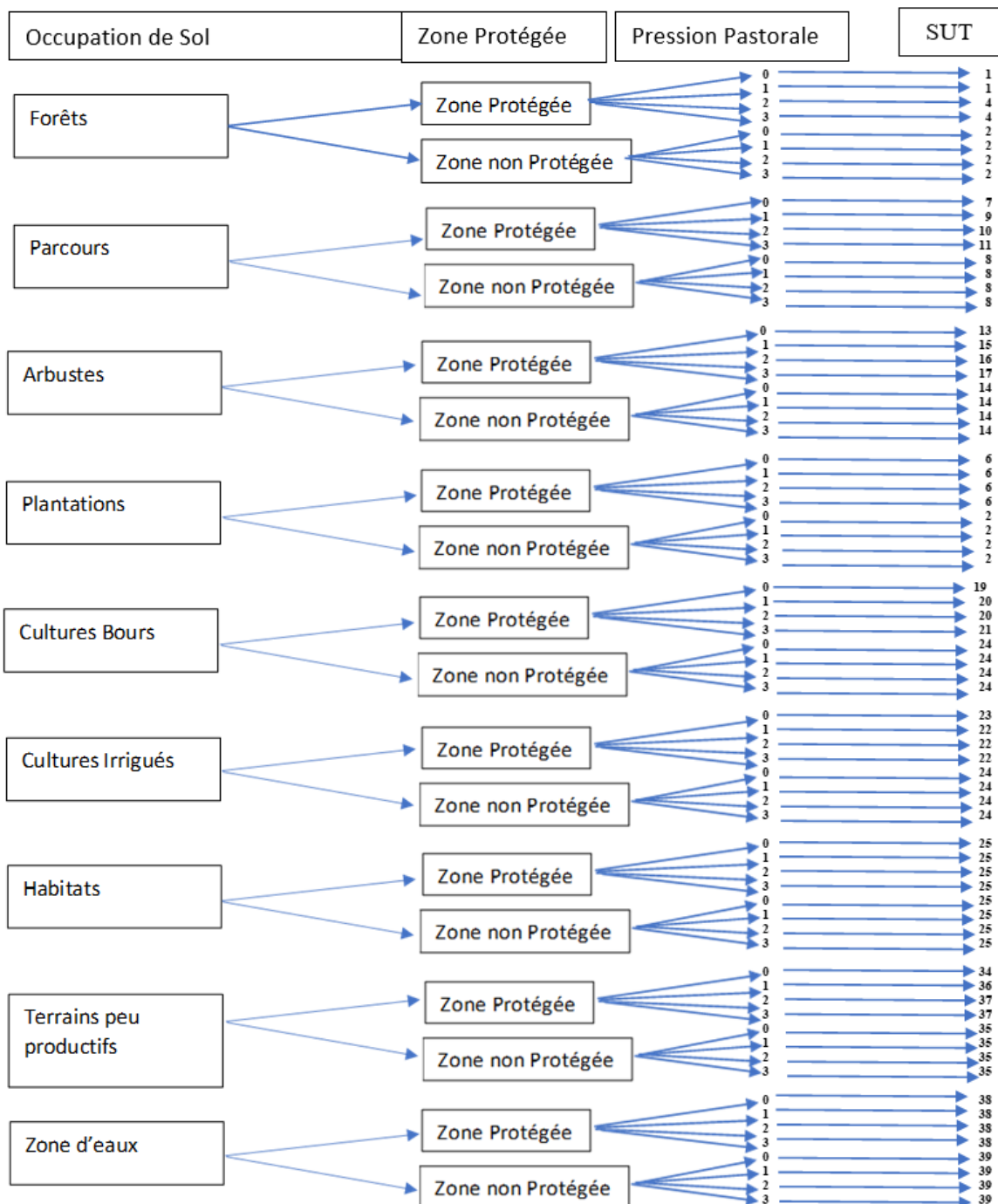


Figure 2: Arbre de Price de décision des SUT définies par LADA – WOCAT

Et pour cela, il a été judicieux de développer un modèle de prise de décision afin d'affecter le Système d'Utilisation des Terres (SUT/LUS) approprié. On a combiné les grilles des paramètres d'entrées afin d'obtenir une valeur pour chaque pixel qui pourra être mise en correspondance avec celle de l'attribut «Valeur» dans la table «Model SUT» tout en tenant compte des SUT de référence LADA-WOCAT.

Le résultat de la combinaison des codes de pixels, soit la traduction de l'arbre de décision sous forme de liaison entre les trois données sera formulé comme suit:

$$\text{Résultat} = [\text{Occupation des sols}] * 100 + [\text{Zones protégées}] * 10 + [\text{Degré de pression pastorale}]$$

#### Élaboration des cartes de différentes manifestations

Plusieurs ateliers ont été organisés avec la participation de plusieurs experts et personnes ressources des provinces de la zone d'étude. Durant ces ateliers, on a pu expliquer le questionnaire QM, qui va être rempli pour chaque SUT et dans chaque province. Pour cela, il va falloir en premier lieu connaître et extraire tous les SUT de chaque province leur

affecter un code propre à eux, pour pouvoir les différencier des SUT des autre province. Alors, une combinaison entre le fichier de base SUT et le fichier des unités administratives en utilisant l'outil «Combine» sur ArcGIS permettra ainsi de ressortir tous les SUT de chaque province tout en affectant un code propre à chacune d'eux «ID de l'unité cartographique». Ces derniers serviront comme unité de base qui contiendra toute l'information à cartographier. Les données du questionnaire, en s'inspirant de la base de données de «Burundi» vont servir par la suite à la création d'un nouveau Modèle Excel qui nous permettra l'élaboration des différentes cartes tout en suivant les méthodologies suivantes (Nachtergaele et Petri, 2011):

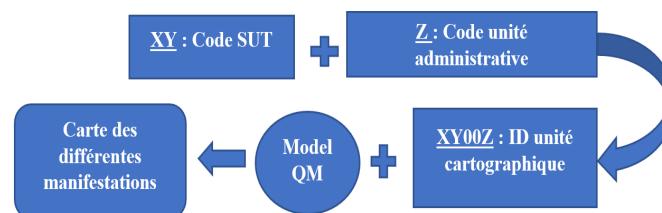


Tableau 2: Légende des codes du système d'utilisation des terres

Code du SUT	légende
1	Forêt, pression faible
2	Forêt, zone protégée
4	Forêt, pression modérée ou élevée
6	Plantations
7	Parcours, pression faible
8	Parcours, zone protégée
9	Parcours, pression modérée
10	Parcours, pression élevée
11	Parcours, pression très élevée
13	Arbustes, pression faible
14	Arbustes, zone protégée
15	Arbustes, pression modérée
19	Cultures bour
20	Cultures bour, pression modérée
21	Cultures bour, pression élevée
22	Cultures irriguées, pression modérée ou élevée
23	Cultures irriguées
24	Cultures, zone protégée
25	Zone d'habitat
34	Terrains peu productifs
35	Terrains peu productifs, zone protégée
36	Terrains peu productifs, faible pression
37	Terrains peu productifs, pression modérée
38	Zones d'eau
39	Zones d'eau protégées

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

### Évaluation du Système d'Utilisation des Terres (LUS)

Le système d'utilisation terres au niveau du Rif Oriental présente une faible complexité si on le compare avec d'autres LUS dans d'autres régions, les occupations du sol ne présentent pas une grande diversité, ce qui est traduit par des occupations du sol où la pression pastorale faible reste dominante avec des superficies avoisinantes les 90%, la zone protégée quant à elle couvre des superficies variables selon des types d'occupation de sol, à savoir que, respectivement, 4,95 % et 16,7 % des forêts et des arbustes sont protégées avec une superficie de total de 28 milles Ha. Les terrains d'agriculture avec 1,42% soit 15 milles Ha, les parcours avec 1,21% soit 4 milles Ha et terrains peu productifs avec 2,41% soit une superficie de 2,5 milles Ha. Toutefois, les SUT qui présentent un degré de pression pastorale faible se localisent généralement sur des terrains d'agriculture avec un pourcentage de 11% suivis par les parcours avec un pourcentage de 8,55%, les occupations de sols qui restent présentes de faible superficie allant de 0,1% pour les forêts à 1,10% pour les arbustes. Le niveau de pression pastorale très élevée est localisé seulement sur les terrains de parcours où la forte pression du cheptel prend place avec 0,37% soit une superficie totale des parcours de 1300 Ha.

### Tendances d'évolution des superficies des LUS

Après l'élaboration du système d'utilisation des terres, on a pu constater que l'utilisation de 59% des terres au niveau du Rif Oriental est restée stable, avec plus de la moitié des terrains au Rif Oriental qui n'ont pas subi de transformation d'usage. On remarque aussi que 22% des terrains a connu une diminution lente en faveur des plantations qui viennent s'installer sur les terrains de culture bour et parcours grâce au Plan Maroc Vert. On constate aussi que les forêts humides au niveau de la région d'Issaguen subissent aussi une régression à cause de la cannabiculture qui règne dans cette région. Les terrains qui ont subi une

augmentation lente se localisent généralement au niveau des zones de plantations, surtout dans la région de Taounate et de Driouch, mais aussi au niveau du parc national d'Al Hoceima et des forêts de Driouch où la forêt prend place. En effet, la pression sur les ressources forestières a fortement diminué d'où l'augmentation de la superficie de cette dernière (Figure 3). Avec un climat très favorable, une pression très faible sur les ressources forestières, voir même l'abandon de l'usage de certaines terres au sein des forêts. La forêt d'Aknoul a connu une importante augmentation de superficie au cours des 10 dernières années dépassant ainsi les 10 % de la superficie initiale.

### Tendance d'évolution de l'intensité d'utilisation des terres

Au cours des 10 dernières d'années, plus d'un tiers des superficies du Rif Oriental n'ont subi aucun changement d'utilisation, surtout l'utilisation des terrains de cultures bour qui garde toujours de mode extensif d'utilisation, mais aussi dans les terrains de parcours où l'Alfa souffre d'une intense utilisation et valorisation, mais garde encore dans une grande partie son caractère d'utilisation traditionnelle.

On remarque aussi que la moitié des terrains au Rif Oriental connaissent une augmentation modérée d'utilisation des terres. Cette augmentation peut être justifiée par la croissance démographique mais aussi par l'augmentation des besoins de la population. Reste que cette augmentation n'est pas généralisée sur l'ensemble du territoire et que 10% de ce dernier connaît une diminution modérée, surtout dans les zones du parc national et de la forêt d'Aknoul où la population ne se base plus pour vivre sur la ressource forestière, contrairement à la zone l'Issaguen où les terrains de culture limitrophes à la forêt souffrent d'un usage important qui a fortement augmenté au cours de ces 10 dernières années. Cette augmentation d'usage est principalement due à la cannabiculture qui a connu une importante évolution d'usage tout en intégrant les techniques de la culture intensive qui augmente les rendements.

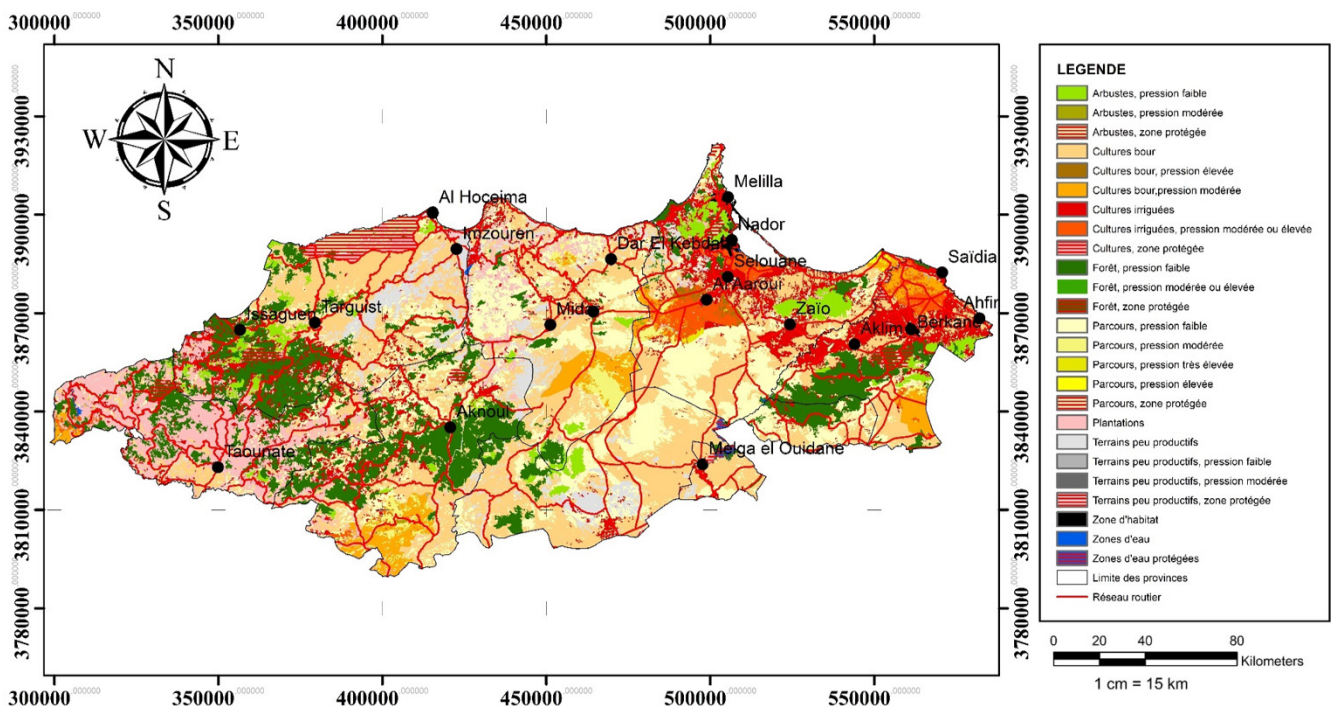


Figure 3: Carte du système d'utilisation des terres du Rif oriental

## Évaluation de la dégradation des terres par système d'utilisation des terres

Avant d'évaluer la répartition des activités de conservation (indicateurs de réponse), il est important d'avoir une impression de l'étendue et du degré de dégradation actuelle des terres (indicateurs d'état) nécessitant de telles mesures. Bien que la dégradation naturelle ne soit pas exclue, l'accent est mis sur la dégradation causée par les activités humaines.

### Types de dégradation des terres

Le Rif Oriental souffre de l'érosion hydrique sur la quasi-totalité de ses terres, avec un pourcentage avoisinant les 81%. L'érosion hydrique est le principal type de dégradation qui affecte le Rif. Cette dernière, accentuée par la topographie et la nature du substrat, se localise principalement sur les terrains en pente ou la végétation permanente reste très pauvre, voire absente.

La dégradation des ressources en eau touche la quantité, mais aussi la qualité des eaux dans le Rif avec 73%. Cette dégradation vient se placer sur la totalité du territoire où la pression anthropique était forte, surtout dans les 10 dernières années où le climat n'était pas favorable pour compenser tous ces dégâts.

La dégradation physique quant à elle avec 38%, se localise surtout sur les zones de cultures ou le poids des engins agricoles compacte le sol. Cela sans oublier les terrains de parcours et les terrains peu productifs où le piétinement localisé et l'absence de végétations (croûte de battance) contribue à cette dégradation.

La dégradation biologique, essentiellement sous forme d'incendie avec 23%, se localise surtout dans les terrains forestiers (forêt - arbuste - alfa), mais peut-être aussi sous forme d'attaque de chenille processionnaire, généralement localisée dans les périmètres de reboisement de pins.

Le climat aride qui règne sur la partie Sud-Est du Rif, fait que cette dernière souffre d'une dégradation éolienne qui touche essentiellement les terrains non protégés par la végétation, où le vent est considéré comme le facteur principal de cette dégradation.

Les grandes plaines du Rif Oriental, marquées par les cultures intensives, présentent une dégradation chimique causée par l'utilisation des additifs et des engrais chimiques. Cette dernière est très marquée, surtout dans l'axe Berkane-Al Aroui représentant ainsi 10% de la totalité des terrains du Rif Oriental touchés par cette dégradation.

Toutefois, ces types de dégradations viennent se combiner entre elles pour s'installer sur la totalité du territoire. Elles peuvent aussi être une cause ou un résultat d'une autre dégradation, en fonction du type du couvert ou du type d'utilisation de sol.

### Étendue de dégradation des terres

L'étendue de la dégradation représente le pourcentage des terres affectées par les types de dégradation au sein d'une même unité cartographique.

Au niveau du Rif Oriental, seulement 10% des systèmes d'utilisation de terres sont affectés par une dégradation inférieure à 20% de la superficie totale du LUS. Cette faible étendue de dégradation est localisée dans les zones forestières dont la couverture végétale naturelle est per-

manente, et où la pression entropique est faible (cas de forêt d'Aknoul), mais aussi au niveau de certaines zones protégées où le territoire est bien conservé.

L'ensemble des LUS présentent une étendue de dégradation très grande allant de 20% à 80% avec des proportions variables selon les types d'utilisation des terres, la topographie ou même le climat.

Toutefois, 13% des LUS présentent une étendue de dégradation avoisinant l'ensemble de sa superficie totale (80%-100% de la superficie du LUS). Cette dégradation est généralement localisée dans les zones d'agriculture irriguée où plusieurs types de dégradation se chevauchent, ou même au niveau des terrains peu productifs (Bad Lands) où la dégradation est très accentuée.

### Tendance de dégradation des terres

Alors que le degré de la dégradation indique une situation actuelle statique, le taux indique la tendance de dégradation sur une période récente de temps.

Dans le Rif Oriental, seulement 14% des terres ont une tendance de dégradation négative, c.-à-d. une diminution lente de la dégradation. Ces zones se localisent généralement dans les espaces forestiers surtout dans zones protégées et les forêts où la pression anthropique diminue, causant ainsi une restitution du couvert végétal. Toutefois, la régression de la dégradation peut être remarquée au niveau des terrasses de la DRS fruitière, donnant ainsi une protection et une stabilité au sol. Cela sans oublier que les aménagements antiérosifs contribuent aussi à la diminution de l'érosion hydrique au niveau des terrains peu productifs bien aménagés.

Les zones stables avec 37% sont en général des zones steppiques à pression pastorale faible, où la dégradation est statique sur une petite échelle de temps (10 ans) et où la pression anthropique est très faible.

Contrairement aux zones stables, les zones beaucoup anthropisées ont une tendance de la dégradation positive, avec des intensités qui varient selon l'intensité de l'utilisation des terres. Une augmentation lente et modérée touche plus de 41% et 8% du territoire respectivement, cette dernière se localise surtout dans la zone de culture intensive. C'est le cas de la province de Berkane, mais aussi dans les zones où la cannabiculture prend place au dépend de la forêt.

### Évaluation des approches et techniques de gestion durable des terres

L'évaluation des approches et techniques de gestion durable des terres dans le contexte de LADA-WOCAT est définie comme l'utilisation des ressources des terres, incluant les sols, l'eau, les végétaux et les animaux, dans le but de produire des biens et des services permettant de satisfaire les besoins humains, tout en préservant le potentiel productif à long terme de ces mêmes ressources et le maintien de leurs fonctions environnementales.

### Étendue des pratiques de gestion durable des terres

De même que la dégradation, l'étendue des pratiques GDT représente la proportion des terres où la pratique de GDT prend place au sein d'une même unité cartographique.

On remarque que seulement 32% des systèmes d'utilisation des terres présentent une proportion élevée de pratique GDT. Ces terres sont généralement des terrains privés où les pratiques agricoles sont dominantes.



38% des LUS présentent une étendue moyenne de pratique de GDT où les pratiques traditionnelles de conservation des terres viennent chevaucher les efforts étatiques, surtout dans les zones où les forêts et les espaces protégées sont de grande valeur. Dans ces zones, la gestion rationnelle des terres est inéluctable afin d'atténuer et protéger l'aval de toutes intempéries. Ceci contrairement aux zones de plaines avec 30% de la superficie totale, et surtout les parcours ouverts où la proportion des pratiques de conservation est de très faible envergure (0% - 20% de la superficie du LUS); ces pratiques sont générales sous forme de projets étatiques (CES ou ASP).

### **Efficacité des technologies de GDT mises en œuvre**

On remarque que de 80% des pratiques de gestion durable des terres au Rif Oriental restent peu efficaces et ne parviennent pas à atténuer la dégradation, car ces pratiques ont besoin d'être adaptées et améliorées localement afin de réduire la dégradation des terres à des limites acceptables.

On peut dire aussi que seulement 20% des pratiques de GDT présentent une efficacité modérée où les mesures sont acceptables pour leur situation. Toutefois, la perte des éléments fins du sol, des éléments nutritifs et de la capacité de rétention d'eau sont supérieurs à la situation naturelle ou optimale. Outre l'entretien, des contributions supplémentaires sont nécessaires pour parvenir à un haut niveau d'efficacité. En ce qui concerne la dégradation de l'eau et de la végétation, les pratiques ne font que ralentir le processus de dégradation, mais ne sont pas suffisantes.

Tout cela est généralement du aux faibles étendues de ces pratiques, qui restent peu efficaces au niveau du SUT malgré leur grande efficacité locale.

### **Types d'impacts négatifs sur les fonctions de l'écosystème**

On remarque que les zones où l'impact sur l'environnement a lieu, représentent 35%. Ces types d'impacts se localisent généralement dans les zones ou les espaces naturels présentent une forte dégradation, surtout dans les forêts où la richesse biologique faunistique et floristique est menacée.

L'impact sur la production représente le taux le plus élevé avec 76% des terrains impactés. Ce dernier, se localise généralement dans les zones d'agriculture où la production et la fertilité des terres, mais aussi la disponibilité des eaux ne fait que diminuer.

Toutefois, les zones qui menacent le bien-être humain (58%) sont généralement localisées à l'amont. Ces zones présentent de grandes menaces sur la vie humaine, sur les fonctions socio-culturelles et sur les infrastructures privées et publiques, surtout en cas d'intempéries.

### **Causes directes et causes indirectes de la dégradation des terres**

La dégradation des terres est causée par une combinaison de facteurs qui évoluent dans le temps et varient selon le lieu. Ceux-ci comprennent des facteurs indirects ainsi que des facteurs directs.

#### **Causes directes de la dégradation des terres**

Plusieurs types d'activités humaines et de causes naturelles peuvent provoquer la dégradation des terres. Dans le Rif Oriental, l'accent est mis sur les dégradations résultant de l'action humaine, bien que dans certains cas la dégradation naturelle nécessite également la mise en place de mesures.

40% des terrains au Rif Oriental souffrent d'une mauvaise gestion de la terres, incluant des cultures sur des sols impropres avec l'absence ou l'insuffisance de mesures de conservation des sols ou la lourde mécanisation et la pratique du travail du sol qui ne font qu'aggraver la dégradation.

Au niveau des terrains privés de cultures fourragères et irriguées, la mauvaise gestion des cultures annuelles et vivaces, des arbustes et des arbres fruitiers couvrent une superficie de 44% du territoire. Cela inclut une grande variété de mauvaises pratiques à savoir la réduction de la couverture végétale et des résidus (notamment le brûlis), le raccourcissement de la période de jachère dans les cultures itinérantes, l'irrigation inadéquate (méthode d'irrigation inefficace, sur irrigation, drainage insuffisant), l'application inadéquate du fumier, des engrais, des herbicides, des pesticides et des autres produits agrochimiques ou des déchets conduisant à la contamination et au lessivage du sol.

Le défrichement et la suppression de la végétation naturelle touche 20% des terrains au Rif Oriental, surtout les provinces où la population se basait sur les revenus naturels pour survivre, à savoir la zone de Beni Snassen et de Aknoul, mais aussi de Ketama où les terrains de culture du cannabis sont toujours en extension au dépend de la forêt. Cette dernière souffre plus que toutes les autres provinces d'incendies provoqués par la population allochtone.

La perturbation du cycle de l'eau concerne 35% du territoire, menant à l'accélération des changements dans le niveau d'eau des réserves aquifères, des lacs et des rivières surtout dans la zone humide du Rif Oriental en raison du faible taux d'infiltration et l'augmentation du ruissellement de surface.

De nombreux cas de dégradation ne sont pas causés par les activités humaines. Bien que cette évaluation met l'accent sur les dégradations anthropiques, les causes naturelles comptent pour 41% du territoire. Au niveau du Rif Oriental, les changements de température, les changements de pluviométrie saisonnière, les précipitations fortes ou extrêmes, les tempêtes, les inondations ou même les sécheresses accentuent fortement les niveaux de dégradation, surtout dans les zones où la nature du sol est très vulnérable à ces phénomènes extrêmes.

#### **Causes indirectes de la dégradation des terres**

Les facteurs socio-économiques sont souvent cruciaux afin de comprendre pourquoi la dégradation des terres se produit. Ce sont les forces motrices des causes indirectes de la dégradation des terres.

Le Rif Oriental souffre d'une pression démographique accrue tout le long de son littoral, cette densité de la population est la force motrice de la dégradation au niveau de 36% du territoire. Toutefois, cette forte densité affecte les terres par ses impacts qui touchent toutes les occupations de sols que ce soit forêts, parcours ou agriculture.

Le régime foncier, avec 15% du territoire, est l'un des grands problèmes que la forêt Rifaine connaît, conduisant ainsi à la dégradation de ses terres mais, aussi à la perte irréversible de ce patrimoine immatériel. Ces terrains risquent d'être accaparés par les exploitants qui ne cherche que le profit. Ces systèmes fonciers sont des facteurs importants de la dégradation, en particulier quand la couverture du

sol permanente. Ainsi, les pratiques de conservation sont obligatoires afin d'atténuer les impacts négatifs en aval.

La quasi-totalité des terrains du Rif Oriental souffrent des répercussions de la pauvreté, où les personnes démunies n'ont pas les moyens d'investir dans les pratiques de conservation des ressources, et par conséquent, elles continuent d'employer les pratiques agricoles inappropriées telles que le labour le long des pentes, le non-respect des période de jachère ou la surexploitation des ressources naturelle à des fins commerciaux, ce qui accentue davantage la dégradation des terres et l'accroissement de la pauvreté.

A cela s'ajoute le problème de gouvernance qui touche 22% des terrains, ce problème concerne le non-respect des lois et leur application, surtout dans la province de Al Hoceima où la culture du cannabis prend place et où les sanctions restent à appliquer.

## CONCLUSION

Les données d'évaluation précise de la dégradation du sol sont peu disponibles à l'échelle du Rif Oriental, car tous les jugements apportés à ce phénomène restent basés sur des qualifications, où l'approche est grossière et dont les résultats restent qualitatifs. Ceci fait que les actions à l'échelle nationale sont inadéquates, car elles ne tiennent pas compte des spécificités régionales. Pour ce faire et afin de mieux évaluer la dégradation des terres au niveau de cette région, il est judicieux d'appliquer la méthode LADA/WOCAT en vue de produire les éléments nécessaires d'aide à la décision pour une meilleure efficacité de l'action publique en matière de lutte contre la désertification. Toutefois, une cartographie des occupations de sols au niveau du Rif Oriental avec la carte de la pression pastorale et des zones protégées nous permettra de faire ressortir les différents systèmes d'utilisation des terres dans la région. Cette dernière sera la carte de base où l'information sera cartographiée à l'aide du modèle QM.

En se basant sur cette cartographie et afin de préserver les terres et aboutir à l'atténuation de la dégradation au niveau du Rif Oriental, il sera judicieux de prendre de multiples mesures fondamentales relatives:

- Au renforcement et à la création, de nouvelles pratiques adaptées aux propriétés socio-territoriales de la zone et au développement des capacités humaines en matière de lutte contre la dégradation des terres;
- A l'implication de la population autochtone au développement et au suivi-évaluation des pratiques de gestion durables des terres, afin d'améliorer l'efficacité et la durabilité de ces pratiques dans le temps et dans l'espace;
- A la conservation des territoires naturels et aux sauvegardes du patrimoine forestier.

## Remerciements

Nous tenons à remercier le Projet GISEC, financé par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, pour tous les moyens mis à notre disposition pour réussir ce travail.

## RÉFÉRENCES

- Bonn F., Rochon G., (1993). Précis de télédétection: principes et méthodes. Volume 1. Presses de l'Université du Québec, Sainte-Foy, 485 p.
- HCEFLCD (1999). Inventaire forestier National. Rapport de synthèse. Ministère Chargé des Eaux et Forêts. Rabat, Maroc.
- HCEFLCD (2001). Programme d'Action National de Lutte Contre la Désertification. Ministère de l'Agriculture, du Développement rural. Rabat (Maroc). pp. 20-60.
- HCEFLCD (2008). Élaboration d'un zonage du territoire national pour identifier les zones prioritaires de LCD (zones de vulnérabilité). Projet PRONALCD, Rabat, Maroc.
- HCEFLCD (2011). Le Programme d'Action National de Lutte Contre la Désertification: Actualisation et adaptation aux spécificités zonales, Rabat, Maroc. pp. 20 -150.
- HCEFLCD (2011). Bilan des réalisations du HCEFLCD, 2005-2009; 2010; 2011). Rabat, Maroc.
- MAPM (2008). Plan Maroc Vert: Plans agricoles régionaux; MAPM, Rabat, Royaume du Maroc.
- Oldeman L.R., Hakkeling R.T.A., Sombroek W.G. (1990). World map of the status of human-induced soil degradation: an explanatory note. International Soil Reference and Information Centre.
- Roose E., Sabir M., Laouina A. (2010). Gestion durable de l'eau et des sols au Maroc: Valorisation des techniques traditionnelles méditerranéennes, IRD éditions, Institut de recherche pour le développement, Marseille. pp. 16-26.
- FAO (2005). An inventory and comparison of globally consistent geospatial databases and libraries. Environmental and Natural Resources Working Paper 19. [www.fao.org/3/a0118e/a0118e00.htm](http://www.fao.org/3/a0118e/a0118e00.htm)
- FAO (2005). Reports of the series of Global Land Cover Network Training Workshops. [www.fao.org/uploads/media/glc-share-doc.pdf](http://www.fao.org/uploads/media/glc-share-doc.pdf)
- FAO (2011). Land Degradation Assessment in Drylands: Manual for Local Level Assessment of Land Degradation and Sustainable Land Management. Part 1: Planning and Methodological Approach, Analysis and Reporting. [www.fao.org/3/a-i6361e.pdf](http://www.fao.org/3/a-i6361e.pdf)
- FAO (2011). Land Degradation Assessment in Drylands: Manual for Local Level Assessment of Land Degradation and Sustainable Land Management. Part 2: Field Methodology and Tools. [www.fao.org/3/a-i6361e.pdf](http://www.fao.org/3/a-i6361e.pdf)
- FAO (2011). Land Degradation Assessment in Drylands: Mapping Land Use Systems at Global and Regional Scales for Land Degradation Assessment Analysis v1.1. [www.fao.org/docrep/017/i3242e/i3242e.pdf](http://www.fao.org/docrep/017/i3242e/i3242e.pdf)
- FAO (2011). State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture. [www.fao.org/3/a-i1688e.pdf](http://www.fao.org/3/a-i1688e.pdf)
- FAO-WOCAT (2011). Questionnaire for Mapping Land Degradation and Sustainable Land Management (QM) v2. [www.fao.org/docrep/017/i3240e/i3240e.pdf](http://www.fao.org/docrep/017/i3240e/i3240e.pdf)
- George H., Petri M. (2006). The rapid characterization and mapping of agricultural landuse: A methodological framework approach for the LADA project. LADA Project, internal document.
- Ghanam M. (2013). La désertification du Maroc - Quelle stratégie de lutte ? HCEFLCD; Rabat, Communication au Forum International des Géomètres, Marrakech- Maroc. pp. 4-11.
- Heusch B. (1971). Estimation et contrôle de l'érosion hydrique. *Soc. Sci. Nat. Phys. Maroc*, 37: 41-54.
- ISSS (1987). Proceedings of the Second International Workshop on a Global Soils and Terrain Digital Database (18-22 May 1987, UNEP, Nairobi). Ed. by R.F. van de Weg. Soter Report 2. Wageningen.
- Laouina A. (1994). Démographie et dégradation de l'environnement, le cas de la montagne rifaine. Rabat, publ. GERM. pp: 19-46.
- Mhirit O., Katabi A., Rouchri M., Chouraichi M., (2011). Adaptation du Programme d'Action National de Lutte Contre la Désertification aux Spécificités Zonales (Rapport général).

Nachtergaele F., Iliniger H., Van Lyndeg G. (2007). Mapping Land Degradation and Sustainable Land Management (QM). LADA Project Publication.

Nachtergaele F., Petri M., Biancalani R. (2011). Land Degradation. In: Lal, R., Stewart B.A., World Soil Resources and Food Security Advances in Soil Sciences, Taylor and Francis, CRC Press, 574 pages.

Oszwald J. (2005). Dynamique des formations agro-forestières en Côte d'Ivoire (des années 1980 aux années 2000). Suivi par télédétection et développement d'une approche cartographique. Thèse de doctorat de géographie, 304 pages.

Rouchdi M., Sabir M., Qarro M. (2017). Aide à la décision pour l'intégration et la transposition à grande échelle de la gestion durable des terres: Évaluation de la dégradation et des bonnes pratiques de gestion durable des terres au sein et à travers leurs systèmes d'utilisation. Région Souss-Massa/observatoires permanents de suivi et de surveillance écologique. Projet GCP/GLO/337/GEF Aménagement des bassins versants.

Shaxson T.F., Hudson N.W., Sanders D., Roose É., Moldenhauer W.C. (1989). Land husbandry: a framework for soil and water conservation. USA, Ankeny, IOWA, SWC Soc., WASWC, 64 p.

Singh A. (1986). Change Detection in the Tropical Forest Environment of Northeastern India using Landsat. In Remote Sensing and Land Management, 237-253.

Stockton C.W. (1988). Current research progress toward understanding drought. In Drought, water management and food production. Conference Proceedings Agadir, Maroc, November, 21-24.

# Analyse SWOT de la filière des truffes au Maroc: un plaidoyer pour la valorisation d'une ressource naturelle

Soukaina HAKKOU<sup>1</sup>, Nadia MACHOURI<sup>1</sup>, Mohamed SABIR<sup>2</sup>

(Reçu le 20/09/2022; Accepté le 28/10/2022)

## Résumé

Les nouvelles stratégies de développement agricoles et forestières accordent de plus en plus d'attention aux produits naturels et de terroir. Les truffes sont un exemple pertinent de ces produits. Elles sont très diversifiées et offrent un potentiel de développement important. L'objectif de cette étude est de mettre l'accent sur l'importance de la filière de la truffe à travers une analyse SWOT (Forces, Faiblesses, Opportunités et Menaces) permettant d'identifier les points positifs à exploiter et les points négatifs à lutter contre afin d'assurer une valorisation adéquate. L'étude s'est appuyée sur une recherche documentaire, des entretiens avec les gestionnaires de la ressource, des prospections de terrains dans les zones productrices et des enquêtes avec les différents acteurs de la filière. Les résultats ont montré que la filière jouit d'un nombre important de points de force dont les plus importants sont la diversité des espèces et les grandes étendues de production; la contribution aux revenus des populations collectrices et le savoir-faire ancestral lié à l'activité de collecte. Les faiblesses concernent surtout la non-organisation et la non-réglementation de la filière qui font que le secteur soit anarchique. Quant aux opportunités, on note la forte demande pour les truffes par les marchés extérieurs et la forte volonté de développement de cette filière traduite par des stratégies qui s'intéressent aux produits de terroir. Et enfin pour les menaces, il s'agit surtout de la diminution des précipitations et la succession des années de sécheresse liées au changement climatique. À la lumière de cette analyse SWOT, des propositions de valorisation de la filière sont proposées dont la promulgation d'une loi spécifique à la truffe, la création d'un marché typique, l'orientation vers la trufficulture pour soulager la production naturelle et le développement de la recherche scientifique relative aux truffes.

**Mots clés:** Filière truffes, Maroc, Analyse SWOT, Perspectives de développement, Diagnostic interne, Diagnostic externe

## SWOT analysis of the truffle sector in Morocco: advocacy for the development of a natural resource

### Abstract

Recent agricultural and forestry development strategies pay more and more attention to natural and local products. Truffles are a relevant example of such products. They are very diversified and offer significant development potential. The objective of this study is to emphasize the importance of the truffle sector through a SWOT analysis (Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats) to identify the positive points to exploit and the negative points to fight against in order to ensure adequate valuation. The study was based on literature search, interviews with resource managers, field surveys in the producing areas and surveys with the various actors in the sector. The results showed that the sector has a large number of strengths, the most important of which are the diversity of species and the large production areas; the contribution to the income of the collecting populations and the ancestral know-how linked to the collection activity. The weaknesses mainly concern the non-organization and the non-regulation of the sector which make it anarchic. As for the opportunities, we note the strong demand for truffles by export markets and the strong aspiration to develop this sector, reflected in strategies that focus on local products. And finally for the threats, they are mainly the decrease in rainfall and the succession of years of drought linked to climate change. In the light of this SWOT analysis, proposals for promoting the sector are proposed, including the promulgation of a law specific to truffles, the creation of a typical market, orientation towards truffle growing to relieve natural production and the development of scientific research relating to truffles.

**Keywords:** Truffle sector, Morocco, SWOT analysis, Development prospects, Internal diagnosis, External diagnosis

## INTRODUCTION

Faisant partie des ressources naturelles les plus exploitées au Maroc, les truffes qui appartiennent aux champignons supérieurs constituent un produit à importance environnementale, socio-économique, alimentaire et thérapeutique. Ainsi, sur le plan environnemental, elles assurent la vie et la croissance des jeunes plantes hôtes auxquelles elles sont associées, surtout dans les conditions naturelles du désert, et ce à travers l'amélioration de la nutrition minérale surtout pour les éléments les moins mobiles comme le phosphore, le zinc et le cuivre. En effet, les plantes mycorhizées se caractérisent par un taux d'absorption élevé des éléments nutritifs, présentent une tolérance accrue à la sécheresse et survivent mieux au stress hydrique que celles non mycorhizées (Trappe, 1979; Awameh, 1981; Morte *et al.*, 1994; Abourouh *et al.*, 1995; Selosse, 2008; Redon, 2009). Sur le plan socio-économique, la truffe fait l'objet d'un impor-

tant commerce, déjà depuis l'antiquité. Elle a été importée d'Afrique par les Grecs et les Romains (Feeney, 2002). Actuellement, elle constitue une branche de commerce qui a de grands et de petits commerçants comme toute autre filière de valeur. Ainsi, on trouve les grossistes et les petits détaillants. Elle fait l'objet d'un commerce local et international important et très actif. Le prix est influencé par l'offre et la demande, la variété et la zone de provenance (Moynier, 1835; Alsheikh et Trappe, 1983; Mandeel et Al-Laith, 2007; Hakkou *et al.*, 2022a).

La filière de la truffe crée une dynamique économique importante permettant à toutes les couches sociales d'en tirer profit. Elle sert à compléter les revenus des familles en vendant les truffes aux marchés et constitue une source de vie pour les villageois qui les expédient vers les villes où elles sont vendues à des prix élevés (Serrhini *et al.*, 1995; Shavit, 2008; Zitouni, 2010; Hakkou *et al.*, 2022a).

<sup>1</sup> Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Université Mohamed V, Rabat, Maroc

<sup>2</sup> École Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé, Maroc

En se référant à l'Office des changes et à la Douane marocaine, on note que plusieurs types de truffes sont exportées chaque année, allant d'une centaine à des milliers de tonnes rapportant ainsi une quantité assez importante de devises pour le Maroc (communication des services de la douane et de l'office des changes en 2022). Sur le plan alimentaire et thérapeutique, les truffes contiennent des quantités importantes de protéines et des quantités très élevées d'antioxydants. Elles constituent donc une source riche de différents types de nutriments essentiels (Wang et Marcone, 2011; El Enshay *et al.*, 2013). Ainsi, elles sont consommées et utilisées dans la pharmacopée depuis les temps les plus anciens (Feeney, 2002; Loizides *et al.*, 2011). La mention des truffes en tant qu'aliment médicinal remonte aux civilisations chinoise, grecque et égyptienne, et ont été appelées «le miracle de la nature» en Mésopotamie (Dahham *et al.*, 2018).

Actuellement, les plus importants consommateurs de ces truffes sont les pays du Maghreb, le Moyen-Orient (Arabie saoudite, Koweït, Iraq) et certains pays du sud de l'Europe (Espagne, Italie) (Morte *et al.*, 1994). Au Maroc, la population collectrice de truffes se permet sa consommation quand la production est abondante ou se contente des truffes brisées, déformées ou refusées à la vente. La truffe entre dans la préparation des plats traditionnels (Tajine, Rfissa et bouillie à l'eau salé). Quant à son utilisation médicinale, les collecteurs la croient capable de guérir les maladies des yeux et les refroidissements du corps (Hakkou *et al.*, 2022a).

La production des truffes concerne de grandes étendues du territoire marocain, du Nord au Sud. En fait, elles sont présentes dans quatre grandes régions géographiques à savoir: l'Oriental (Nord-est), la forêt de la Maâmora, le Sahel de Doukkala-Abda et le Sahara marocain (Malençon, 1973; Abourouh, 2011 et 2020; Khabar, 2016; Hakkou *et al.*, 2021; Hakkou *et al.*, 2022b). Le Maroc connaît aussi la première expérience réussie de culture de la truffe noire *Tuber melanosporum* dans l'Afrique du Nord par le médecin Abdelaziz Laqbaqbi (Hakkou, 2022).

Les truffes bénéficient actuellement d'une attention distinguée, mais encore timide dans l'action. Ainsi, la truffe marocaine a été nommée en tant que produit de terroir par le ministère de l'agriculture (MAPM, 2011). Une consultation a été réalisée par la FAO en 2020 sous le thème «Restauration des Forêts de Chêne liège pour le Développement et la Valorisation des Truffes dans la Forêt de Maâmora». Elle s'inscrit dans le cadre de la mise en œuvre de la composante marocaine du Projet «L'accord de Paris en action: intensifier la restauration des forêts et des paysages pour mettre en œuvre les contributions déterminées au niveau national», financée par l'Initiative pour le climat (IKI), du Ministère Fédéral Allemand de l'Environnement, de la Protection de la Nature et de la Sécurité Nucléaire (BMU) (Programme GCP/GLO/296/GER) (Abourouh, 2020).

Cette importance accordée à ce produit semble être assez prometteuse. Ainsi, l'objectif de cet article est de contribuer au développement de la filière «truffe». Et ce, à travers la réalisation d'une analyse SWOT permettant de mettre l'accent sur les points positifs à exploiter et les points négatifs à lutter contre afin d'assurer une valorisation adéquate permettant une meilleure performance de la filière.

## MATÉRIELS ET MÉTHODES

Pour aboutir à l'objectif de cette étude, on a opté pour une méthodologie basée sur quatre principales étapes:

- Une recherche documentaire portant sur la connaissance des truffes marocaines et les principes de l'analyse SWOT;
- Des prospections de terrains dans les quatre régions trufficoles afin d'analyser de près les caractéristiques de la filière;
- Des entretiens avec les gestionnaires de cette ressource: les cadres de la Direction du développement forestier, les cadres de la Direction du développement des filières de production du MADREF et les cadres de l'Agence du développement agricole (ADA);
- Des enquêtes, entretiens et ateliers avec les différents intervenants dans la filière: collecteurs, intermédiaires, grossistes, exportateurs et coopératives.

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

En appliquant la matrice SWOT (Strength, Weakness, Opportunity, Threats = Forces, Faiblesses, Opportunité, Menaces) à la filière des truffes marocaines, on a pu déterminer les caractéristiques positives et négatives internes et externes de la ressource elle-même et de la filière. Cette étape a permis de préciser les points sur lesquels toute intervention et toute action de valorisation pourra être basée afin d'être efficace. Une valorisation bien pensée et bien appliquée pourrait conduire à la protection de la truffe, à l'amélioration des conditions de vie de la population locale et à la préservation de l'environnement naturel producteur pour une durabilité de la ressource.

### Diagnostic interne

#### Forces

Les truffes sont dotées d'un nombre très important d'atouts sur lesquels le développement de la filière peut être basé (Tableau 1). Leur nomination en tant que produit de terroir peut augmenter la compétitivité des territoires producteurs en offrant à ces derniers une identité territoriale spécifique. Le lien tissé entre le produit et son terroir permettra de lutter contre la marginalisation spatiale et économique des espaces ruraux réputés désormais par l'originalité de l'un de leurs produits. Contrairement à d'autres produits dont le processus de production passe par plusieurs étapes et demande un traitement spécifique, la truffe constitue un produit offert par la nature sans aucune intervention humaine. Elle est adaptée aux conditions climatiques difficiles et constitue une composante importante de la flore mycologique des forêts et des parcours arides et semi-arides (Alsheikh, 1994; Bradai, 2014).

La diversité des espèces qui sont de l'ordre de 12 espèces de celles dites «truffes du désert» et de 5 espèces des vraies truffes, et les grandes étendues de production entre forêts, steppes et terrains de parcours garantissent une production élevée ce qui permet de répondre à la demande des exportateurs en quantités et en espèces. Cette demande extérieure est déjà très élevée. Ainsi, les truffes participent aux entrées en devises étrangères à travers l'exportation de presque toute la production selon différentes catégories, dont les truffes séchées qui ne risquent pas d'être endommagées ou

pourries. Quant aux pays de destination, il s'agit surtout des pays du Moyen Orient (Arabie Saoudite, Koweït), Syrie et de l'Europe (France et Espagne). Cette importance des exportations est traduite par une dynamique économique dans les régions trufficoles permettant aux différents intervenants de la chaîne de commercialisation d'en tirer profit avec une différence de la marge bénéficiaire. Dans certaines zones, la collecte et la vente des truffes constituent pour certains la seule source de revenus, surtout pour les femmes

qui s'en servent pour répondre aux besoins quotidiens de leurs ménages. Dans ce cas, l'argent gagné est dépensé le jour même du souk hebdomadaire où s'est passé la vente. Pour d'autres, cette activité constitue un complément de revenu. Dans certains endroits, où les quantités collectées sont assez élevées ainsi que le prix de vente, cette activité a permis à certaines familles d'en tirer une richesse.

La truffe constitue un symbole des relations entre l'homme, la nature et la tradition. Le savoir-faire lié à la connaissance

**Tableau 1: Analyse SWOT de la filière truffe au Maroc**

	<b>Impact positif</b>	<b>Impact négatif</b>
	<b>Forces</b>	<b>Faiblesses</b>
<b>Interne</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produit d'exception sur les plans alimentaire, médicinal et aphrodisiaque;</li> <li>- Produit de terroir porteur de développement;</li> <li>- Produit adapté aux bioclimats des zones arides et sahariennes;</li> <li>- Diversité des espèces et de grandes étendues de production;</li> <li>- Goût délicieux et valeur nutritive sans risque toxicologique;</li> <li>- Effets pharmacologiques;</li> <li>- Aliment à la fois paysan et aristocrate;</li> <li>- Contribution à l'amélioration des conditions de vie de la population collectrice par la création d'emploi dans des zones souvent marginalisées;</li> <li>- Participation aux entrées en devises étrangères à travers l'exportation de la grande partie de la production;</li> <li>- Possibilité de stockage des truffes séchées pour une longue durée;</li> <li>- Possibilité de culture réussie qui ouvre de nouvelles perspectives commerciales et de préservation de l'environnement;</li> <li>- Contribution à la reconstitution des paysages forestiers dégradés par la trufficulture;</li> <li>- Savoir-faire ancestral qui constitue une histoire locale et des expériences techniques transmises d'une génération à l'autre;</li> <li>- Opportunité pour reconstruire un lien au terroir ;</li> <li>- Diversité des origines socio-professionnelles des intervenants dans la filière ce qui implique une diversité des connaissances;</li> <li>- Participation à la recomposition des territoires ruraux et à la construction identitaire des territorialités.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Patrimoine menacé par la pression anthropique;</li> <li>- Produit sensible et facile à la pourriture à l'état frais;</li> <li>- Productions irrégulières contrôlées par les apports pluviométriques;</li> <li>- Forte pression due à l'augmentation des nombres des intervenants: collecteurs, intermédiaires et grossistes;</li> <li>- Méthodes de collecte anarchiques destructrice de l'habitat de la truffe;</li> <li>- Problèmes techniques au niveau de la collecte et le stockage de la truffe fraîche;</li> <li>- Manque de communication et de partage de l'information autour de la production et des zones productrices;</li> <li>- Filière fragile non organisée;</li> <li>- Absence de réglementation de la collecte à la commercialisation;</li> <li>- Connaissances individuelles disparates et parfois contradictoires;</li> <li>- La recherche de grands rendements financiers a favorisé un air de tromperie et de tricherie dans certains niveaux de la gestion de la filière;</li> <li>- Marché de la truffe non organisé et contrôlé par les grossistes;</li> <li>- Absence de structures de valorisation dans presque toutes les régions (coopératives);</li> <li>- Difficulté de définir une stratégie commerciale et se projeter à l'avenir;</li> <li>- Manque d'une stratégie de valorisation;</li> <li>- Rareté des recherches scientifiques au niveau du pays.</li> </ul>
<b>Externe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- De nouvelles stratégies de développement agricoles et forestières (SGG, SFM) ouvertes sur les produits naturels;</li> <li>- Les produits de terroir reçoivent de plus en plus d'importance au niveau institutionnel;</li> <li>- Volonté des institutions de développement pour leur mise en valeur en les intégrant dans les programmes de réhabilitations des terres dégradées;</li> <li>- Forte demande sur les truffes par les marchés extérieurs;</li> <li>- Orientation mondiale vers l'utilisation des produits cosmétiques et médicinaux naturels;</li> <li>- Recherches scientifiques de plus en plus développées surtout sur la valeur nutritive et les vertus médicinales de la truffe.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Régression de la production à cause de la diminution et l'irrégularité des précipitations liée au changement climatique;</li> <li>- Une démographie en augmentation conduisant à une surexploitation de la ressource;</li> <li>- La transformation des terres forestières et de parcours en terre agricole détruisant les habitats des plantes hôtes (labour);</li> <li>- Augmentation du nombre de cheptel aboutissant au surpâturage dans tous les écosystèmes forestiers et pastoraux à l'échelle nationale engendrant la dégradation des plantes hôtes;</li> <li>- L'émigration des jeunes ruraux vers les villes menaçant la durabilité du savoir-faire lié aux truffes.</li> </ul>
	<b>Opportunités</b>	<b>Menaces</b>

et la différenciation entre les espèces en se référant à la couleur, la plante hôte et le lieu de provenance, à la collecte, au stockage et aux préparations culinaires et médicinales constitue un patrimoine culturel et présente une possibilité d'attraction sur laquelle la promotion de plusieurs types de tourisme peut être basée. Ainsi, on peut évoquer le tourisme rural, l'écotourisme, le tourisme culturel, le tourisme culinaire et de l'agritourisme. Ce dernier, peut être développé dans les zones qui connaissent actuellement la culture de la truffe noire *Tuber melanosporum*, à savoir, Debdou et Imouzzar Kandar. Cette expérience réussie, conjuguée à la forte demande sur les vraies truffes et leurs prix élevés encouragent l'extension des truffières cultivées et d'essayer la culture d'autres espèces existantes à l'état naturel dans les forêts du chêne vert du Moyen Atlas (*Tuber aestivum*, *T. brumale* et *T. rufum*). Le souci n'est pas purement matériel, mais surtout environnemental. Et ce, afin de faire face à la régression des espaces et des peuplements forestiers à travers le reboisement par une espèce locale adaptée aux conditions climatiques et édaphiques du pays et surtout résistante aux effets du changement climatique (chêne vert).

En effet, la truffe représente un organisme mystique portant à la fois des aspects culturels, commerciaux et sociaux. Sa capacité à faire partie des aliments des aristocrates et à assurer au même temps la nourriture des classes sociales les plus défavorisées en temps normal et durant les guerres est vraiment surprenante. Elle a été servie sur les tables les plus luxuriantes des pharaons, rois, présidents, empereurs et tsars (Olivier *et al.*, 2018). Elle a été utilisée par les nomades et les Sahraouis comme substituant de la viande (Omer, 1994; Volpato *et al.*, 2013). Et elle a assuré les besoins en alimentation de la population en Irak durant la guerre en 1970 (Khalastchy, 2003). Au Maroc, la truffe a été servie sur la table du grand vizir Sid Ahmed ben Mousa ben Ahmed au temps du Sultan Moulay-Ab-el-Aziz ben Hassen ben Mahomed (Tavel, 1901). Al-Koni (1992) a dit: « Une fois qu'un homme a essayé de tels terfez, il passe le reste de sa vie à vouloir les goûter à nouveau... ». La médecine Prophétique témoigne de l'efficacité antimicrobienne des extraits des truffes contre les maladies oculaires. D'après Saïd Ibn Zayd (qu'Allah l'agrée), le Prophète (que la prière d'Allah et Son salut soient sur lui) a dit: « la truffe fait partie de la manne et son jus est une guérison pour l'œil » (Rapporté par Boukhari dans son Sahih n°4478 et Mouslim dans son Sahih n°2049).

### Faiblesses

Les faiblesses peuvent être divisées en deux grands axes. Le premier concerne le champignon-même et le deuxième concerne l'organisation de la filière. En effet, la truffe constitue un produit sensible au contact à la main et aux odeurs et peut facilement pourrir. Certaines méthodes de collecte conduisent à briser la truffe, à déraciner la plante hôte et à perturber l'espace naturel de production. Au niveau de la Maâmora, et afin de collecter le maximum des quantités possibles, les gens ont commencé à utiliser des sapes pour chercher les truffes en relation avec des arbres, ces espèces sont difficiles à détecter en absence d'une plante hôte herbacée. Cette pratique affecte négativement la durabilité du produit en ruinant son habitat naturel et par destruction des spores en remuant la terre. Les connaissances individuelles disparates et contradictoires, surtout en ce qui concerne le cycle de vie et le processus

de reproduction de la truffe représentent un mystère non déchiffré par la population collectrice et ne font qu'aggraver la situation. Certains collecteurs ne sont pas conscients des conséquences de leur façon de faire. La pourriture facile du produit constitue une contrainte majeure pour les collecteurs qui doivent garder les truffes en bon état durant 6 jours puisque la vente se fait aux souks hebdomadaires le 7<sup>ème</sup> jour. Pour ce faire, ils les mettent dans le sol et les couvrent avec de la terre (sable) comme dans leurs habitats naturels. Dans ce cas, la situation se complique aussi pour les grossistes qui doivent exporter les quantités achetées le jour même à leur destination finale. Dans certaines régions, telles que la région de l'Oriental et le Sahara marocain, les grossistes procèdent par l'achat auprès des collecteurs chaque jour dans les lieux de collectes afin d'exporter les truffes toutes fraîches. L'exportation des truffes séchées ou en conserve ne pose pas de problème.

En ce qui concerne la filière truffe, il est à noter qu'elle ne jouit d'aucune organisation ou réglementation. Le marché est contrôlé par les grossistes qui font baisser et augmenter les prix de vente selon la demande extérieure et la marge bénéficiaire qu'ils cherchent à gagner. Ceci rend les collecteurs le maillon le plus faible de la chaîne de commercialisation, alors qu'ils sont ceux qui sont le plus dans le besoin. L'espoir de grands rendements financiers ainsi que la concurrence entre les collecteurs d'un côté et des grossistes de l'autre ont favorisé un air de tromperie et de tricherie dans certains niveaux de la gestion de la filière, surtout qu'il n'y a pas de loi spécifique à la filière des truffes. En effet, toutes les étapes allant de la collecte à la commercialisation au niveau local ne suivent aucune réglementation. En fait, Les champignons dont fait partie la truffe sont gérés comme les autres produits forestiers non ligneux par le Dahir du 20 hija 1335 (10 Octobre 1917) sur la conservation et l'exploitation des forêts. Des amendes sont fixées contre l'extraction ou l'enlèvement non autorisé de matériaux, broussailles et des produits quelconques des forêts. Dans d'autres pays, conscients de l'importance de ce produit dans le développement socio-économique, les truffes bénéficient de textes législatifs spécifiques relatifs à la récolte, la commercialisation et l'exportation. En France par exemple, ces textes précisent même le matériel autorisé pour l'extraction de la truffe du sol et l'ouverture et la fermeture de la saison de récolte. Un code pénal a été mis en place en 2012 pour le vol des truffes dans les truffières des autres; le voleur est pénalisé de trois ans de prison et de 45 000 € d'amende (Meyer, 2002; Olivier *et al.*, 2018).

Plusieurs tentatives d'organisation et de valorisation de la filière dans les quatre régions du Maroc ont été mise en œuvre, mais elles ont échoué. Ces tentatives ont consisté à la mise en place de dépôts de stockage et de conditionnement des truffes ainsi que la création de coopératives. Les raisons des échecs sont à la fois naturelles et humaines. L'irrégularité de la production, la divergence des opinions et les conflits d'intérêts entre les différents intervenants ont conduit au dysfonctionnement de toutes les actions mises en œuvre. Seules deux coopératives, de nature familiale, sont actives actuellement et dont les expériences peuvent être jugées de réussies, l'une est située dans la commune d'Oulad Ghanem, province d'El Jadida, et l'autre dans la ville de Laâyoune. La prise de conscience de l'importance économique des truffes a conduit à une augmentation remarquable du nombre d'intervenants (collecteurs, inter-

médiaires, grossistes), ce qui a engendré une forte pression sur la ressource.

Il est à noter aussi que les études qui ont abordé les truffes marocaines sont peu nombreuses et sont généralement d'ordre taxinomique, floristique et cytologique. Les truffes sont relativement bien connues sur leurs aspects botaniques et écologiques, mais elles sont très peu connues du point de vue répartition géographique aux échelles régionale et nationale, productions, commercialisation, rôles socio-économiques et possibilités de valorisation. Les études ayant porté sur ces aspects sont très rares et ne peuvent pas donner une vision globale et intégrée sur tous les aspects concernant les truffes à l'échelle nationale et encore moins à l'échelle régionale.

Tous ces points faibles rendent difficile de définir une stratégie commerciale et se projeter à l'avenir à propos de la filière des truffes.

## Diagnostic externe

### Opportunités

Les opportunités qui se présentent devant les truffes sont assez importantes. L'intérêt accordé dernièrement aux produits de terroir dont font partie les truffes est encourageant. Ainsi, plusieurs stratégies et plans de développement agricole ont été initiés par le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, dont le Plan Maroc Vert. Une division des produits de terroir et une division de la labellisation ont été créées au niveau de la Direction de Développement des Filières de Production. Leur importance dans le développement a été encore soulignée par les nouvelles stratégies lancées par le Royaume du Maroc «Generation Green» et «Forêts du Maroc 2020-30» et mises en œuvre par le Ministère de l'Agriculture, du développement rural et des eaux et forêts. Plusieurs textes juridiques ont été promulgués, parmi lesquels la loi n° 25-06 relative aux signes distinctifs d'origine et de qualité (SDOQ), la loi n° 28-07 relative à la

sécurité sanitaire des produits alimentaires et la loi n° 39-12 relative à la production biologique. Toutes ces actions témoignent de la volonté des institutions de développement pour la mise en valeur de ces produits de terroir.

La demande sur les truffes dans les marchés extérieurs est en croissance continue. Le fait que la truffe marocaine a conquis les marchés du Moyen Orient et d'Europe a conduit à une augmentation remarquable des prix de vente. Certains de ces pays importateurs sont aussi producteurs des mêmes espèces que le Maroc mais leurs productions ont diminué, pour les uns à cause de la sécheresse et pour d'autres à cause de la guerre qui a détruit les champs de production (Irak, Koweït). C'est dans ce sens qu'ils compensent leur production par l'importation. Une forte demande provient également de la communauté juive au Maroc et ailleurs.

Ces derniers temps et avec toutes les transformations que le monde a connu, on note une orientation mondiale vers les produits cosmétiques naturels ou biologique et un recours de plus en plus frappant vers la médecine traditionnelle afin d'éviter les méfaits des substances chimiques synthétiques. Ce passage vers des produits sains constitue une opportunité majeure offerte à la truffe pour jouer un rôle dans la pharmacopée traditionnelle en faisant surgir les recettes des ancêtres. En effet, les recherches scientifiques se focalisant sur la valeur nutritive et les vertus médicinales de la truffe deviennent de plus en plus nombreuses.

Des études réalisées sur les truffes ont démontré que la plupart représentent des traitements nouveaux et efficaces contre différents types de cellules tumorales grâce aux effets anticancéreux de leurs composante (Beara *et al.*, 2014; Dahham *et al.*, 2018). La capacité de la truffe à lutter contre les bactéries et à traiter les maladies des yeux tel que le trachome a aussi été confirmée (Al-Marzouki, 1981; Khalifa *et al.*, 2019). En médecine vétérinaire, la truffe a confirmé sa capacité à guérir certaines maladies chez le bétail. Ainsi,

**Tableau 2: Résultats du croisement des différents facteurs**

	Opportunités	Menaces
Atouts	<ul style="list-style-type: none"> <li>- S'appuyer sur la spécificité de la truffe en tant que produit de terroir pour encourager les décideurs ayant déjà une volonté de mise en valeur;</li> <li>- Valoriser les espèces et leurs espaces de répartition pour une meilleur compétitivité au niveau des marchés extérieurs;</li> <li>- Profiter du savoir-faire ancestral concernant la pharmacopée traditionnelle, afin d'accompagner le passage mondial vers l'utilisation des produits cosmétiques et médicinaux naturels sains.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Opter pour la culture des truffes (trufficulture) pour compenser la diminution de la production due aux changements climatiques;</li> <li>- Valoriser le savoir-faire ancestral et en créer des activités génératrices de revenu afin de lutter contre l'immigration des jeunes;</li> <li>- Procéder par la mise en défens des zones les plus productives afin de les protéger contre la transformation pour d'autres buts.</li> </ul>
Faiblesses	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La mise en valeur de la truffe à travers une réglementation adéquate de la collecte à la commercialisation;</li> <li>- Se baser sur les critères de la demande extérieurs pour unifier les prix d'achat et de vente et faire face aux tricheries et tromperies au niveau de la filière;</li> <li>- Développer et encourager la recherche scientifique et technique pour identifier de nouvelles techniques de collecte et de stockage, et d'autres composantes nutritives et vertus des truffes pour les valoriser sur le plan alimentaire et médicinaux.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Procéder à la protection des zones productives afin de minimiser la pression sur la ressource et éviter les effets de la dégradation des terres et du surpâturage sur la truffe et sa plante hôte;</li> <li>- Favoriser et aider à la création de structures d'organisation des acteurs, notamment les collecteurs (coopératives) afin de pouvoir contrôler les nombres des collecteurs par zone;</li> <li>- Sensibilisation des habitants des zones productives sur l'importance de la truffe en tant qu'un patrimoine naturel et culturel et sa fragilité afin de limiter la pression sur ces zones (surpâturage).</li> </ul>



elle est utilisée pour traiter la métrite (inflammation de la paroi de l'utérus) et la mammite (inflammation des mamelles) ou autres inflammations extérieures (Volpato *et al.*, 2013). Des nomades rencontrés dans le Sahara marocain nous ont confirmé que la poudre de la truffe séchée est efficace pour guérir les tumeurs des mamelles de la chamelle, la vache et la chèvre et même de la femme.

Quant à la valeur nutritive, plus de 75% de la masse de la truffe est constituée d'eau et peut même atteindre 81%, tandis que le reste constitue la matière sèche composée de jusqu'à 60 % de glucides, 20 à 27 % de protéines, 3 à 7,5 % de matières grasses, 7 à 13 % de fibres et 2 à 5 % d'acide ascorbique. Cette composition moyenne peut varier selon l'espèce, l'âge, la région, le type de sol et les facteurs climatiques (Rodriguez, 2008; Wang et Marcone, 2011; El Enshay *et al.*, 2013; Benmouloud, 2017).

Consciente de ce changement dans les habitudes et leur vision vers l'utilisation des produits qualifiés de Bio, une coopérative nommée «Ahl Baganna» à Laâyoune a procédé à la fabrication de crèmes à base des truffes du désert et de la graisse de chèvre et de chameau et de la cire d'abeille pour soigner l'arthrose.

### Menaces

Les menaces qui peuvent avoir un impact négatif sur la durabilité de la truffe sont à la fois naturelles et anthropiques. Pour ce qui est des naturelles, on note les effets des changements climatiques à travers des sécheresses fréquentes, de plus en plus intenses et longues engendrant une rareté de la pluie dont dépendent la production et la productivité des truffes. On note donc une diminution des quantités et de la durée de la période de production. En 2022, jusqu'à mars on a noté une absence totale de la truffe dans les souks hebdomadaires et chez des collecteurs dans la forêt de la Maâmora.

Pour ce qui est des menaces anthropiques, la croissance démographique traduite par l'augmentation de la population, surtout dans les zones rurales, la difficulté des conditions de vie dans ces régions et la rareté des offres d'emploi poussent de plus en plus les populations à s'orienter vers la collecte des truffes, ce qui engendre une forte pression surtout dans les zones où l'espace de production n'est pas assez grand et les quantités produites ne sont pas assez élevées. L'augmentation de la population est toujours accompagnée de pratiques dégradantes de l'environnement. Ainsi, on note la transformation des terres forestières et des terres de parcours en terres agricole. La déforestation et le déracinement des plantes hôtes perturbent l'habitat naturel de la truffe. En outre, elle ne se produit pas dans les terres labourées. La sédentarisation des nomades engendre aussi la disparition du libre accès aux parcours par l'appropriation de ces terres converties par la suite en des zones de culture (Mahyou *et al.*, 2010). A ceci s'ajoute l'urbanisation qui engendre la fragmentation des écosystèmes forestiers et pastoraux qui sont exploités dans la réalisation de projets urbanistiques, industriels ou touristiques. Ainsi, les espaces forestiers et pastoraux sont en train de perdre leur valeurs biologiques (MEMEE, 2009).

L'augmentation de la taille du cheptel représente aussi l'une des conséquences de la croissance démographique. Le risque de la présence du bétail dans les zones productrices réside dans le broutage de la plante hôte de la truffe,

généralement de l'*Helianthemum*. Au niveau du Sahel Doukkala-Abda par exemple, depuis quelques années les collecteurs se plaignent du surpâturage causé par les troupeaux des nomades venant de Tan-Tan, Smara, Tiznit, Guelmim et Taroudant. Traditionnellement, les nomades avaient l'habitude de camper seulement dans les forêts où ils ébranchent les arbres pour nourrir le bétail durant l'été et les périodes de sécheresse. Actuellement, ils dressent leurs tentes partout dans la région (dans et hors forêts) et durant toute l'année. Les animaux broutent les plantes associées aux truffes ce qui réduit la régénération de la truffe dans la zone. La forêt de la Maâmora connaît aussi une forte pression du bétail appartenant à la population usagère, les troupeaux broutent la plante hôte de la truffe, surtout durant les années de sécheresse. Quand la pluviométrie est bonne, la strate herbacée devient très développée et donc les troupeaux trouvent d'autres espèces à brouter loin de l'hélianthème qui est peu palatable. Mais quand il ne pleut pas suffisamment, même l'*Helianthemum* est brouté.

Le croisement de certains éléments présents dans le tableau 1, permet de sortir avec des propositions pour maximiser les points forts et minimiser les points faibles (Tableau 2).

### CONCLUSION

L'analyse SWOT effectuée sur la filière des truffes au Maroc a permis de constater que la truffe est caractérisée par de nombreuses qualités et points forts qui peuvent être exploités pour sa valorisation. Les opportunités viennent appuyer les atouts et ouvrent plusieurs horizons à suivre pour augmenter les chances et pour diversifier les chemins à prendre vers cette valorisation. Quant aux faiblesses, elles ne présentent pas de vrais dangers, une bonne gestion basée sur une bonne connaissance et qui impliquent les différents acteurs pourra diminuer, voire éliminer ces points négatifs et les transformer en points positifs. Et en fin, pour les menaces, elles peuvent être contrôlées et limitées sauf pour les menaces naturelles. Cependant, pour la raréfaction des précipitations liée au changement climatique, des mesures d'adaptation peuvent être identifiées dans le cadre du développement rationnel de la trufficulture.

A la lumière des résultats de cette étude on propose:

**Projet de loi spécifique à la truffe:** l'adoption d'une loi spécifique à la truffe en tant qu'un produit forestier non ligneux indispensable à la durabilité de la biodiversité et en tant qu'un produit de terroir indispensable au développement local et régional du pays aura la capacité de faire face aux abus commis par les différents intervenants dans ce domaine et sur tous les niveaux d'intervention de la collecte à l'exportation;

**Un marché typique de la truffe:** la mise en place d'un marché typique propre à la truffe au niveau des zones les plus productives contribuera à l'organisation de la filière au niveau de la commercialisation et à la connaissance de la truffe au public et aux touristes. La vente des truffes au niveau des marchés typiques qu'on propose peut-être garantie par des coopératives et associations qui existent déjà ou à créer. Les unités agro-alimentaires peuvent approvisionner le marché en truffes de conserve. Le marché peut être organisé selon trois principaux pavillons: pavillon de la truffe à l'état frais, pavillon des produits dérivés de la truffe et pavillon de l'art culinaire;

**Orientation vers la trufficulture:** Une orientation vers la culture des truffes des deux catégories, les vraies truffes et les truffes du désert, pourra contribuer au développement durable du pays, en conciliant l'amélioration du niveau social de la population, le développement socio-économique et la protection de l'environnement en faisant partie de l'agro-écologie. Le développement du secteur touristique est aussi souhaité, et ce par la promotion de l'agritourisme, qui permettra aux visiteurs des exploitations de découvrir un savoir-faire particulier et de vivre l'expérience de cavage lors de la saison de production;

**Développement de la recherche scientifique relative aux truffes:** le développement de projets de recherche intégrée sur les truffes aux niveaux régional et national fédérant les universités et les instituts spécialisés permettrait d'identifier d'autres composantes et vertus des truffes diversifiées conduisant à une meilleure utilisation et valorisation de la ressource.

## RÉFÉRENCES

- Abourouh M. (2011). Truffes du désert du Maroc: diversité et modes d'exploitation. 6<sup>ème</sup> Rencontre de MICOSYLVA, Mértola (ADPM), Portugal, 15-18 Mars 2011. 23 pages.
- Abourouh M. (2020). Terfess et truffes de la Maâmora: importances biologique, écologiques et socio-économique. Consultation nationale "Restauration de la forêt de chêne-liège pour le développement et la valorisation des truffes dans la forêt de la Maâmora", FAO, 78 pages.
- Abourouh M., Lamhamdi M.S., Fortin J.-A. (1995). Technique de mycorhization en pépinière des plants forestiers. Centre Nationale de la Recherche Forestière. 38 pages.
- Al-Koni I. (1992). Poussière d'or. Livre en arabe. Ed. Maison d'édition et d'impression. Dar Altanweer. Liban. 137 pages.
- Al-Marzouki A. (1981). La truffe est de la manne et son suc est un remède pour les yeux. À partir des documents de la première conférence internationale sur la médecine islamique, Koweït - 1981. 4 pages.
- Alsheikh A.M., Trappe J.M. (1983). Desert truffles: The genus *Tirmania*. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 8: 83-90.
- Alsheikh A.M. (1994). Taxonomy and mycorrhizal ecology of the desert truffles in the Genus *Terfezia*. Ph.D. dissertation. Oregon State University, Corvallis, 239 p.
- Awameh M. S. (1981). Response of *Helianthemum salicifolium* and *H. ledifolium* to infection by the desert truffle *Terfezia boudieri*. *Mushroom science XI*. Part II. In Proceedings of the Eleventh International Scientific Congress on the Cultivation of Edible Fungi, Australia, edited by NG Nair, AD Clift, pp 843-583.
- Beara I., Lesjak M.M., Simin D.Č., Mimica-Dukic N., Nađpal J., Mrkonjić Z., Kamenica S. (2014). Phenolic profile, antioxidant, anti-inflammatory and cytotoxic activities of black (*Tuber aestivum* Vittad.) and white (*Tuber magnatum* Pico) truffles. *Food Chemistry*, 165:460-466.
- Benmouloud A. (2017). Les truffes: apport nutritionnel et thérapeutique. Thèse de Doctorat. Faculté de Médecine et Pharmacie. Rabat, 183 pages.
- Bradai L. (2014). Inventaire et bio-écologie des terfeze dans quelques régions du Sahara septentrional (oued M'ya, oued Righ et Ghardaïa). Thèse de Doctorat ès science, Université Kasdi Merbah Ouargla. 124 pages.
- Dahham S.S., Al-Rawi S., Ibrahim A.H., Abdul Majid A. Sh., Abdul Majid A.M. Sh. (2018). Antioxidant, anticancer, apoptosis properties and chemical composition of black truffle *Terfezia claveryi*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25: 1524-1534.
- El Enshasy H., Elsayed E.A., Aziz R., Wadaan M.A. (2013). Mushrooms and Truffles: Historical Biofactories for Complementary Medicine in Africa and in the Middle East. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013: 1-10.
- Feeney J. (2002). Desert truffles galore. *Saudi Aramco World*. p. 22-27.
- Hakkou S. (2022). La trufficulture au Maroc. Une success story à reproduire. *La feuille et l'aiguille*, 127: Juin 2022.
- Hakkou S., Machouri N., Sabir M. (2021). Truffles from the northeast region of the Kingdom of Morocco: geographical distribution and production potential. *International Journal of Current Research*, 13: 19817-19822.
- Hakkou S., Sabir M., Machouri N. (2022 a). Valorisation écotouristique des ressources naturelles: plantes aromatiques et médicinales de la région Rabat-Salé-Kénitra. Livre. Éditions Universitaires Européennes: 146 pages.
- Hakkou S., Sabir M. et Machouri N. (2022 b). Le Maroc truffier: la répartition géographique des truffes et truffes du désert et leur productivité. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*, 10: 395-407.
- Khabar L. (2016). Les Terfess et les truffes du Maroc, biodiversité et valorisation. Éd. Univ. Européenne. 276 pages.
- Khalastchy E. (2003). Desert truffles- Eileen Khalastchy writes. *The scribe - J. Babylonian Jewry*: 76.
- Khalifa S.A.M., Farag M.A., Yosri N., Sabir J.S.M., Saeed A., Al-Mousawi S.M., Taha W., Musharraf S.G., Patel S., El-Seedi H.R. (2019). Truffles: From Islamic culture to chemistry, pharmacology, and food trends in recent times. *Trends in Food Science and Technology*, 91: 193-218.
- Loizides M., Hobart C., Konstandinides G., Yiangou Y. (2012). Desert truffles: the mysterious jewels of antiquity. *Field Mycology*, 13: 17-21.
- Mahyou H., Tychon B., Balaghi R., Mimouni J., Paul R. (2010). Désertification des parcours arides au Maroc. *Tropicultura*, 28: 107-114.
- Malençon G. (1973). Champignons hypogés du Nord de l'Afrique. I. Ascomycètes. *Persoonia*, 7: 261-288.
- Mandeel Q.A., Al-Laith A.A.A. (2007). Ethnomycological aspects of the desert truffle among native Bahraini and non-Bahraini peoples of the Kingdom of Bahrain. *Journal of ethnopharmacology*, 110:118-129.
- MAPM (2011). Produits du terroir du Maroc: catalogue national. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime. Direction de Développement des Filières de Production. 102 pages.
- MEMEE (2009). Quatrième rapport national sur la biodiversité. Secrétariat d'État auprès du Ministère de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Eau et de l'Environnement. Département de l'Environnement. 112 pages.
- Meyer R. (2002). Arrêté préfectoral relatif à la récolte des truffes et à la protection des truffières naturelles dans le département de la côte d'Or. Direction départementale de l'agriculture et de la forêt. République Française, 2 pages.
- Morte M.A., Cano A., Honrubia M., Torres P. (1994). *In vitro* mycorrhization of micropropagated *Helianthemum almeriense* plantlets with *Terfezia claveryi* (Desert truffle). *Agricultural Science in Finland*, 3: 309-314.
- Moynier M.M. (1835). De la truffe, traité complet de ce tubercule. Gallica / Bibliothèque nationale de France. 476 pages.
- Olivier J.-M., Savignac J.-C., Sourzat P. (2018). Truffe et trufficulture. Périgueux: Éditions Fanlac, 352 p.
- Omer, E.A., Smith, D.L., Wood, K.V., El-Menshawi, B.S. (1994). The volatiles of desert truffle: *Tirmania nivea*. *Plant Foods for Human Nutrition*, 45: 247-249.
- Redon P.-O. (2009). Rôle de champignons mycorrhiziens à arbuscules dans le transfert du cadmium (Cd) du sol à la luzerne (*Medicago truncatula*). Science des sols. Université Henri Poincaré - Nancy. 206 pages.
- Rodriguez A. (2008). Desert truffles. Sur <http://www.trufamania.com/desert-truffles.htm>
- Selosse, M.-A. (2008). Les champignons qui nourrissent les plantes: les associations mycorrhiziennes. 7 pages.
- Serrhini M., El Youssefi K., Allali K. (1995). Une ressource naturelle exceptionnelle des milieux pastoraux de l'Oriental et du centre Sud Marocain: le «terfèze», situation actuelle et perspectives d'amélioration. École Nationale d'Agriculture, Meknès, 33 pages.

Shavit E. (2008). Medicinal mushrooms: Truffles roasting in the evening fires, Pages from the History of desert truffles. *Truffles*, 1: 18-23.

Tavel E. (1901). Récits de voyage au Maroc. *Le Globe. Revue genevoise de géographie*, 40: 64-77.

Trappe J.M. (1979). The orders, families, and genera of hypogeous Ascomycotina (truffles and their relatives) “*Clelandia arenacea*, *Dingleya verrucosa*, *Choiromyces aboriginum*, *Peziza stuntzii*”, new taxa, *Fungi. Mycotaxon*, 9: 297–340.

Volpato G., Rossi D., Dentoni D. (2013). A Reward for Patience and Suffering: Ethnomycology and Commodification of Desert Truffles among Sahrawi Refugees and Nomads of Western Sahara. *Economic Botany*, 67:147–160.

Wang S., Marcone M.F. (2011). The biochemistry and biological properties of the world’s most expensive underground edible mushroom: Truffles. *Food Res. Int.*, 44: 2567–2581.

Zitouni F.H. (2010). Étude des associations mycorhiziennes entre quatre espèces de terfez et diverses plantes Cistacées et ligneuse en conditions contrôlées. Mémoire Magister, Univ. Oran, 262 p.

# Diversité floristique des forêts communautaires de la préfecture de Dankpen au Togo

W. ATAKPAMA<sup>1\*</sup>, H. EGBELOU<sup>1,2</sup>, F. FOLEGA<sup>1</sup>, C. AFO<sup>2</sup>, K. BATAWILA<sup>1</sup>, K. AKPAGANA<sup>1</sup>

(Reçu le 22/08/2022; Accepté le 05/09/2022)

## Résumé

Cette étude est une contribution à la gestion durable des forêts communautaires (FCs) dans la préfecture de Dankpen au Togo: FC de Namab (FCNam), Nassibik (FCNas) et Yakandjido (FCY). Il s'agit de (i) cartographier les unités d'occupation du sol, (ii) évaluer la diversité floristique et (iii) caractériser la structure démographique des FCs. Les superficies estimées de ces FCs sont respectivement de 23,0 ha; 22,1 ha et 7,0 ha pour les FCNam, FCNas et FCY. À l'exception de la FCNam, où l'on note une absence des formations forestières, un peu plus de la moitié des superficies des autres FCs sont couvertes par des formations forestières. Les inventaires floristiques ressortent une flore globale de 84 espèces végétales dont les familles les plus représentées sont les Rubiaceae, les Leguminosae-Caesalpinioideae, les Combretaceae et les Poaceae. Cette flore est inversement proportionnelle aux superficies des FCs: 26, 41 et 52 espèces recensées respectivement dans les FCNam, FCNas et FCY. À l'exception des formations forestières de la FCY, la structure en diamètre est en "J" renversée dans les autres formations végétales montrant une forte représentativité des jeunes individus, par conséquent une forte empreinte humaine récente. Malgré la faible abondance des individus de grands diamètres, la forte densité de régénération augure une reconstitution rapide des forêts si les mesures de protection et de restauration entreprises sont maintenues dans le temps.

**Mots clés:** Occupation du sol, diversité, forêt communautaire, Dankpen, Togo

## Floristic diversity of community forests in the prefecture of Dankpen in Togo

### Abstract

This study is a contribution to the sustainable management of community forests (CF) in the prefecture of Dankpen in Togo: CFs of Namab (CFNam), Nassibik (CFNas), and Yakandjido (CFY). It aims at (i) mapping land use and land cover, (ii) assessing floristic diversity and (iii) characterizing the demographic structure of CFs. The estimated areas of these CFs are respectively 23.0 ha; 22.1 ha and 7.0 ha for the FCNam, FCNas and FCY. Except for the CFNam, where no forest stands were observed, over half of the areas of the other CFs are covered by forest formations. The floristic inventories showed a global flora of 84 plant species. The most represented are the Rubiaceae, the Leguminosae-Caesalpinioideae, the Combretaceae and the Poaceae. This flora is inversely proportional to the CF areas: 26, 41 and 52 species recorded respectively in the CFNam, FCNas and FCY. With the exception of the forest formations of the CFY, the diameter structure is inverted J in the other plant formations showing a high abundance of young individuals and therefore a strong recent human influence. Despite the few densities of individuals with large diameter, the high density of regeneration indicates a rapid recovery of the target CFs if protection and restoration measures are maintained over time.

**Keywords:** Land use, diversity, community forest, Dankpen, Togo

## INTRODUCTION

La plupart des paysages de par le monde sont modifiés par les activités anthropiques (Rompré *et al.*, 2010). En Afrique de l'Ouest, les formes dominantes de perturbations de la structure et de la physionomie de la végétation sont entre autres les feux de végétation, l'exploitation anarchique des ressources ligneuses et les défrichements couplés au stress hydrologique lié à l'irrégularité de la pluviométrie (Diwediga *et al.*, 2012; Badjana *et al.*, 2014; Folega *et al.*, 2017a). Ces dégradations affectent non seulement les forêts non classées, mais affectent aussi les aires protégées qui sont menacées de dégradation. Les cas les plus remarquables au Togo sont ceux du complexe des aires protégées d'Oti-Kéran-Mandouri au Togo (Dimobe *et al.*, 2012; Polo-Akpisso *et al.*, 2020). Pour contrer ces dégradations des écosystèmes, plusieurs initiatives de foresterie communautaire ont été promues ces dernières années.

Dans ces forêts d'initiative communautaire, les populations développent des activités socio-économiques de développement communautaire ainsi que la production d'autres produits forestiers non ligneux (Atakpama *et al.*, 2018). Les préceptes de durabilité qui sous-tendent la notion de la foresterie communautaire impliquent le maintien d'un couvert forestier pouvant entrer en contradiction avec la

pratique de l'agriculture itinérante (Folega *et al.*, 2017a). Cette compétition sans cesse croissante entre les besoins de nouvelles terres pour une production agricole suffisante et ceux du maintien d'un taux de couverture forestière en vue d'assurer des services écosystémiques de qualité est très récurrente. L'absence ou les insuffisances liées aux politiques et aux mesures d'aménagement et de gestion durable des terres pourraient aisément expliquer cet état de fait (Folega *et al.*, 2017a).

Face à la dégradation des ressources naturelles et à la récurrence des effets des changements climatiques, les communautés de la préfecture de la préfecture de Dankpen, région de la Kara du Togo ont entrepris des initiatives locales de foresterie communautaire. Cependant, il n'existe pas de données de base (données spatiales, état de conservation des ressources existantes) pouvant orienter la planification de la gestion durable de ces forêts. Or, il est connu que tout cadre favorable pour un aménagement efficace des ressources naturelles passe impérativement par la connaissance et l'état des lieux des ressources disponibles, leur état de conservation et leur évolution dans le temps et dans l'espace (Atakpama *et al.*, 2017; Folega *et al.*, 2017a). La prise en compte de la connaissance, de la vision des populations locales et des mesures locales dans la gestion des ressources qui les environnent n'est pas aussi à négliger

<sup>1</sup> Laboratoire de Botanique et Écologie Végétale, Département botanique, Faculté des sciences, Université de Lomé, Togo

<sup>2</sup> Département de Foresterie, Institut Nationale de Formation Agricole de Tové, Kpalimé, Togo

(Issifou *et al.*, 2022). Une bonne connaissance des aspects écologiques et phytosociologiques des écosystèmes de ces FC s'avère donc nécessaire.

La présente étude est une contribution à la valorisation et à la gestion durable des forêts communautaires au Togo, en particulier les FC de la préfecture de Dankpen au Togo: FC Namab (FCNam), FC Nassibik (FCNas) et FC Yakandjido (FCY). Spécifiquement, il s'agit de: (i) cartographier les formations végétales, (ii) analyser la diversité floristique et (iii) caractériser la structure démographique des forêts communautaires mises en place dans la préfecture. L'analyse de ces données constitue un des éléments de références dans le suivi des modifications futures suite à la mise en œuvre des plans de gestion.

## MATÉRIELS ET MÉTHODE

### Milieu d'étude

Dans la préfecture de Dankpen, région de la Kara au Togo, la FCNas et la FCY se situent dans le canton de Kidjaboun (commune de Dankpen 3) et la FCNam se situe dans le canton de Guérin-Kouka (commune de Dankpen 1). Ces forêts communautaires (Nassibik, Yakandjido, et Namab) s'étendent sur des superficies respectives de 22,2 ha; 7,23 ha et 23,2 ha. La préfecture de Dankpen est limitée au Nord par les préfectures de l'Oti et de la Kéran, au Sud par la préfecture de Bassar, à l'Est par les préfectures de Doufelgou et de la Kozah et à l'Ouest par le Ghana. Cette préfecture comprend sept (7) cantons: Guérin-Kouka, Bapuré, Katchamba, Kidjaboun, Namon, Nandouta et Nawaré (Tchalla, 2015). La préfecture de Dankpen se trouve dans la zone écologique I (ERN, 1979).

### Acquisition des images

Préalablement à la réalisation de la présente étude, il n'existait pas de cartes des FCs. Par conséquent, la première activité a consisté à la délimitation des FCs à l'aide de l'application MAPS.ME pour l'enregistrement du parcours et des points GPS, le logiciel Google Earth Pro et du logiciel QGIS pour la digitalisation. La cartographie des unités d'occupation du sol a été réalisée à l'aide des images de Google Earth de 2021. Le choix de ces images se justifie par leur haute résolution pouvant atteindre 1,5 m (Mangolini *et al.*, 1993; Atakpama *et al.*, 2017; Egbelou *et al.*, 2021). La faible superficie des forêts communautaires d'étude en est une autre raison.

### Inventaires phyto-sociologiques, forestiers et écologiques

La collecte des données de terrain a été réalisée le long de transects équidistants de 200 m. Le long de chaque transect, des points d'échantillonnage équidistant de 100 m ont été définis. Les dimensions des relevés de chaque point d'échantillonnage sont de 50 m x 20 m pour les inventaires phytosociologiques des plantes ligneuses, les inventaires écologiques et les mensurations forestières des ligneux de diamètre à hauteur de poitrine (DHP) minimal de 10 cm. Les inventaires phytosociologiques des plantes herbacées, ont été réalisés au sein des placettes unitaires de 10 m x 10 m. Dans chaque grande placette de 50 m x 20 m, trois (3) sous-placettes de 5 m x 5 m disposés diagonalement ont été définis pour l'inventaire des régénérations: un (1) au centre et les deux (2) autres dans les angles opposés de part et d'autre de la placette centrale. Le dimensionnement des placettes s'inspire des travaux antérieurs (Polo-Akpisso *et al.*, 2015; Thiombiano *et al.*, 2015; Atakpama *et al.*, 2021a).

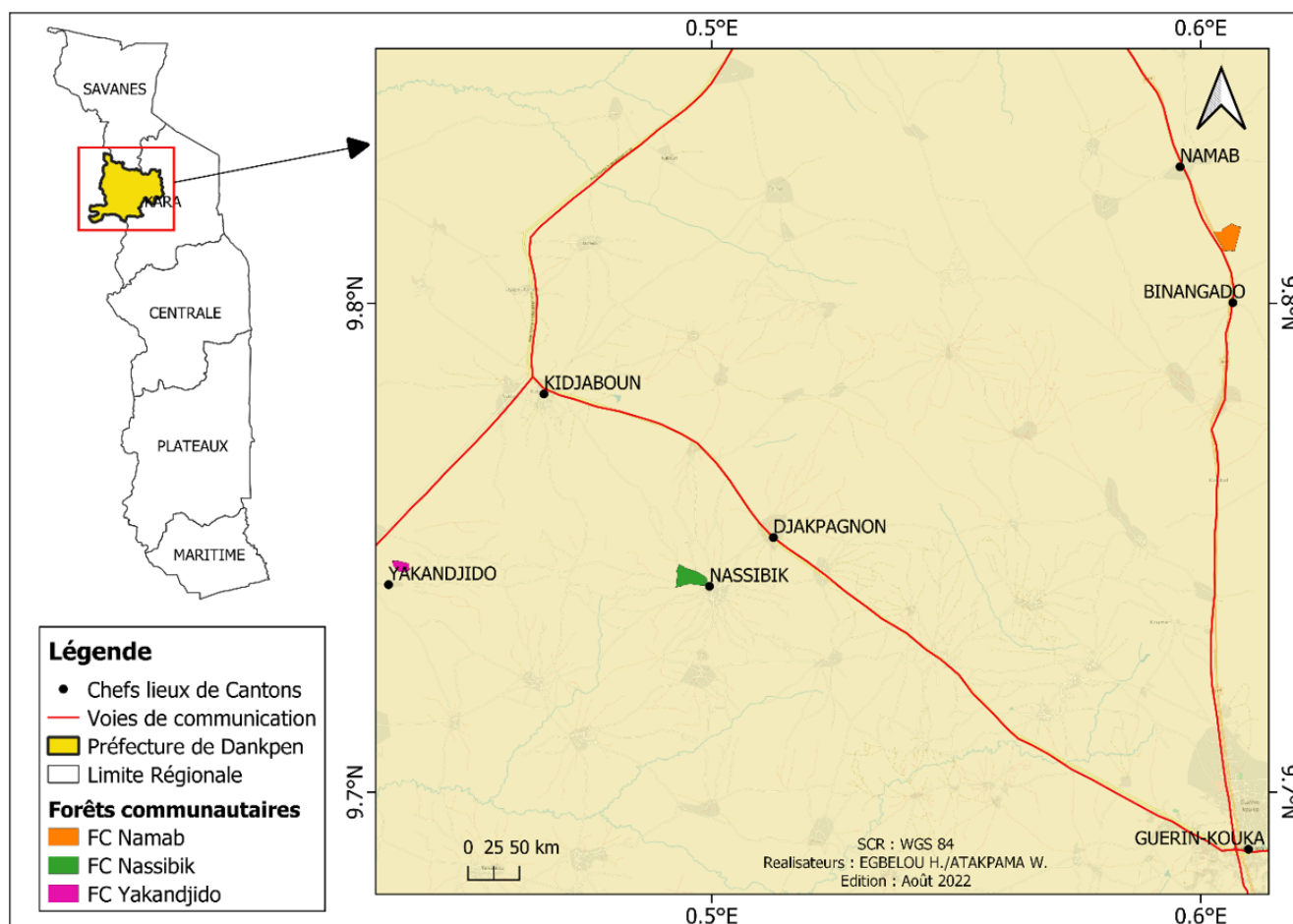


Figure 1: Localisation des forêts communautaires de la préfecture de Dankpen au Togo

Toutes les espèces présentes dans l'aire d'inventaire ont été recensées. Les relevés phytosociologiques ont été réalisés sur la base d'une fiche phytosociologique classique avec les informations suivantes: identifiant, code la placette, date de relevé, localité, nom de la forêt communautaire. Les coordonnées géographiques des points et le type de relevé ont été également notés. Toutes les espèces recensées (ligneuses et herbacées) ont été affectées d'un coefficient d'abondance/dominance selon l'échelle de Braun-Blanquet (Braun-Blanquet, 1932) qui se définit comme suit: +: espèce rare, recouvrement de 0 à 1 %; 1 = recouvrement de 1 à 5 %; 2 = recouvrement de 5 à 25 %; 3 = recouvrement de 25 à 50 %; 4 = recouvrement de 50 à 75 %; 5 = recouvrement de 75 à 100 %.

L'inventaire forestier a consisté à mesurer la circonférence des arbres, la hauteur fût et la hauteur totale des ligneux dont le diamètre à hauteur de poitrine (DHP)  $\geq 10$  cm (Atakpama et al., 2017). La circonférence des arbres a été mesurée avec un mètre ruban à 1,30 m du sol. La hauteur du fût et la hauteur totale des ligneux ont été évaluées par cotation visuelle. Le diamètre du houppier a été évalué suivant les directions Nord-Sud et Est-Ouest. Tous les ligneux de DHP  $< 10$  cm ont été considérés comme des régénérations potentielles (Bawa et al., 2022).

### Cartographie des unités d'occupation du sol des FC

Les différentes unités d'occupations de sol ont été digitalisées dans le logiciel Google Earth Pro et la mise en page s'est réalisée avec le logiciel QGIS. Les coordonnées des points des différentes formations enregistrées sur le terrain avec le GPS ont été projetées sur l'image Google Earth afin de valider les cartes précédemment réalisées. Après la digitalisation, les couches générées sont enregistrées sous le format KML et projetées sur un fond de la carte du Togo, système WGS 84\_UTM Zone 31N à l'aide du logiciel QGIS 2.18.

### Évaluation de la diversité floristique

Les données collectées sur le terrain ont été saisies dans un tableur Microsoft Excel. L'analyse a consisté à établir la liste des espèces recensées et leurs regroupements par famille et par genre (Atakpama et al., 2017). Les types biologiques et phyto-géographiques de ces espèces ont été identifiés suivant les documents de référence (Aké Assi, 1984; White, 1986).

### Analyse des caractéristiques forestières

La densité (N) des arbres est évaluée en nombre de pieds par hectare selon la formule suivante:  $N = n/s$  où  $n$  est le nombre d'arbres sur la parcelle et  $s$  la surface de la parcelle (en hectares). La surface terrière (G,  $m^2/ha$ ) est la somme des sections transversales à 1,30 m de hauteur du sol de tous les arbres d'une parcelle convertit en hectare. Elle est calculée suivant la formule  $G = \sum \pi d^2 / 4s$  où  $d$  est le diamètre et  $s$  la surface de la parcelle.

Les paramètres dendrométriques tels que la densité des tiges à l'hectare (D), la hauteur moyenne de Lorey (HL en m), le diamètre moyen (Dm en cm) et la surface terrière (G en  $m^2/ha$ ) ont été calculés (Bawa et al., 2022). La densité est le nombre de pieds de DHP  $\geq 10$  cm par hectare. La hauteur moyenne de Lorey est la moyenne des hauteurs des arbres pondérée par la surface terrière (Philip, 2002).

Les structures en classes de diamètre et de hauteur ont été établies en regroupant les arbres par classes de diamètre d'ampli-

tude 10 cm et par classes de hauteur de 2 m d'amplitude. Le diamètre et la hauteur minimale sont respectivement de 10 cm et 2 m. Les structures démographiques des arbres ont été ajustées à la distribution théorique suivant les 3 paramètres Weibull ( $a$  = paramètre de position,  $b$  = paramètre d'échelle ou de taille et  $c$  = paramètre de forme lié à la structure en diamètre ou hauteur) (Bawa et al., 2022; Samarou et al., 2022).

## RÉSULTATS

### Occupations du sol dans la forêt communautaire de Namab

La superficie globale de la FCNam est estimée à 23 ha. Dans cette FC, deux (02) types d'occupation de sol se distinguent. Il s'agit des savanes arborées/arbustives et des champs/jachères (Figure 2). Les savanes arborées/savanes arbustives sont les plus représentées (68,4 %) suivie des champs/jachères avec une proportion de 31,6 %.

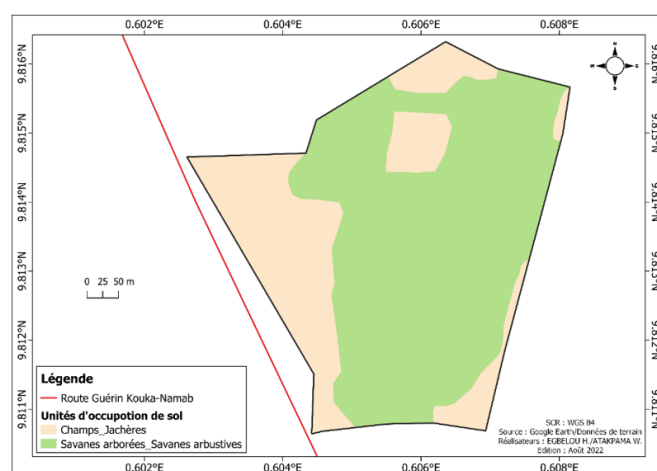


Figure 2: Occupation du sol de la forêt communautaire de Namab en 2021

Trois (3) types d'occupation de sol ont été discriminés dans la FCNas: forêts claires/savanes boisées, champs/jachères et agglomérations (Figure 3). Les forêts claires/savanes boisées sont les plus représentées (58,0 %) suivies des champs/jachères (41,8 %) sur une superficie globale d'environ 22,1 ha. Les agglomérations quant à elles occupent une proportion de 0,14 % et se retrouvent dans la partie nord-est de la forêt.

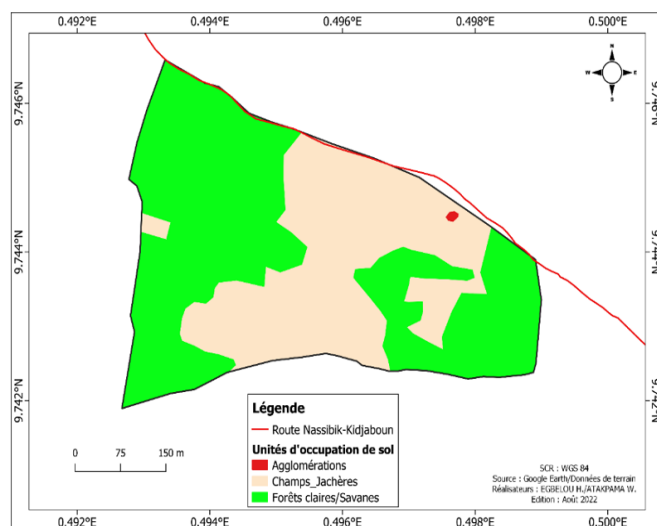


Figure 3: Occupation du sol de la forêt communautaire de Nassibik en 2021

Sur une superficie globale d'environ 7,02 ha, la FCY comprend trois (3) types d'occupation de sol: champs/jachères, savanes arborées/arbustives et forêts claires/savanes boisées (Figure 4). Les forêts claires/savanes boisées sont les plus représentées (51,7%), suivies des champs/jachères (34,3%).

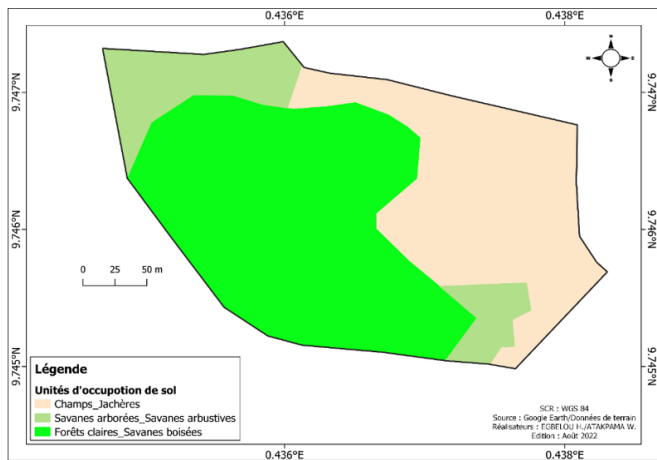


Figure 4: Occupation du sol de la forêt communautaire de Yakandjido en 2021

### Bilan floristique des forêts communautaires

Globalement, la flore recensée au sein des trois forêts communautaires est d'environ 84 espèces de plantes composées d'arbres, d'arbustes, de lianes et d'herbacées. Cette flore est répartie en 75 genres et 31 familles. Les familles les plus représentées sont les Rubiaceae (8 espèces), les Leguminosae-Caesalpinioideae, les Combretaceae et les Poaceae (Figure 5).

### Diversité floristique de la FC de Namab

La flore recensée est de 26 espèces végétales réparties en 24 genres et 18 familles. Les espèces les plus représentées sont *Albizia lebeck* (21,1%), *Cochlospermum planchoni* (17,8%), *Pennisetum polystachion* (10,3%), *Hyptis spicigera* Lam. (8,5%), *Khaya senegalensis* (8,5%), *Senna siamea* (8,5%) et *Senna tora* L. (8,5%). Les familles les plus représentées sont les Combretaceae (21,1%), Leguminosae-Caesalpinioideae (14,4%), les Meliaceae (14,4%), Leguminosae-Mimosoideae (13,1%), Poaceae (12,6%), Verbenaceae (7,4%) et les Lamiaceae (5,6%).

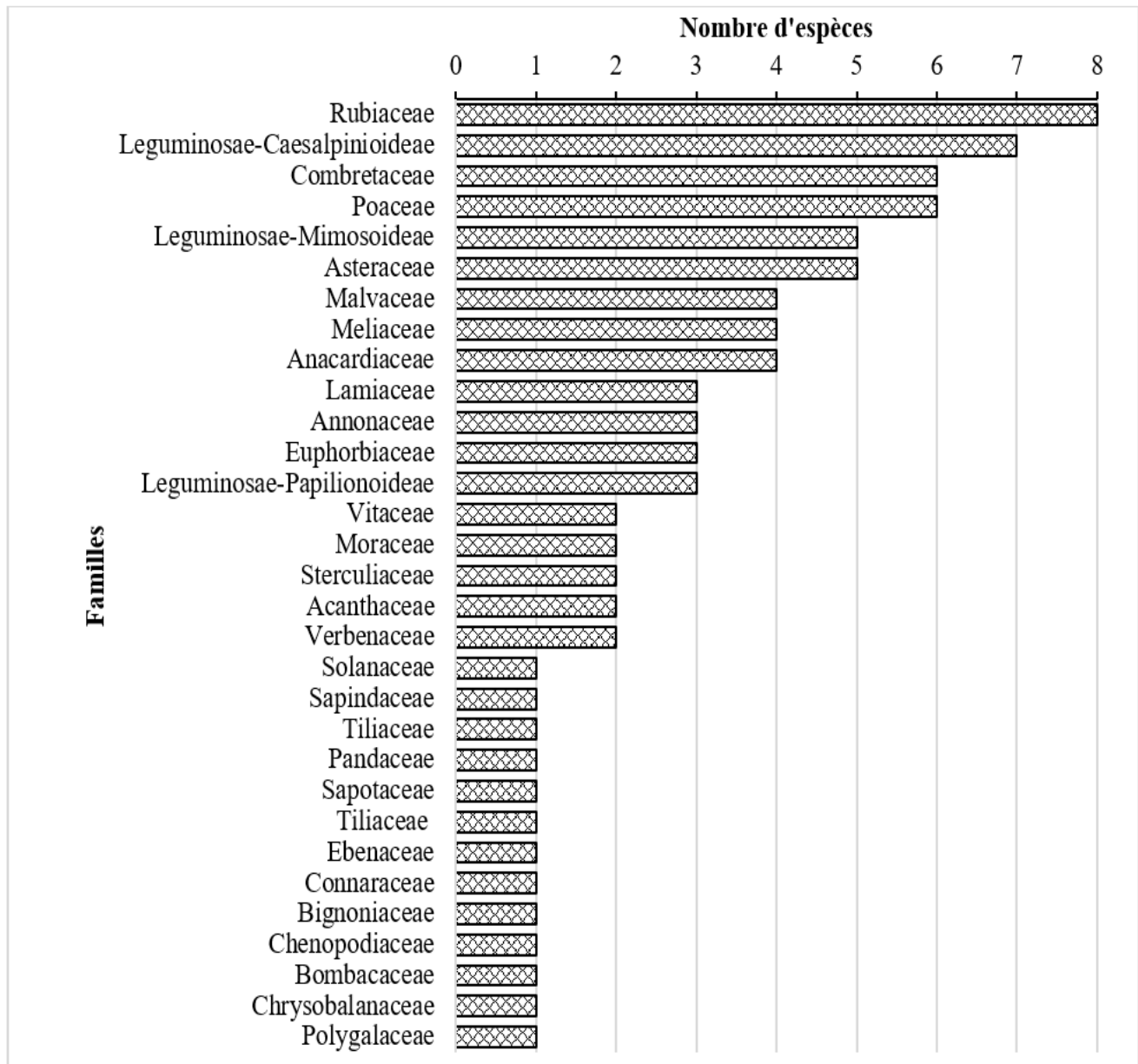


Figure 5: Répartition de la flore en fonction des familles

Les espèces introduites (I) sont les plus représentées (52,1 %). Les espèces soudano-zambézienne (SZ; 27,5 %) et les espèces de transition guinéo-congolaises/soudano-zambéziennes (GC-SZ; 18,1 %) viennent en seconde et troisième position respectivement. Les espèces guinéo-congolaises (GC) occupent une proportion de très négligeable (1,44 %). Ceci ressort le caractère anthropogène de la FCN. Dans le cadre de la reforestation, une attention particulière devrait être accordée aux espèces spontanées de la zone, mais aussi des espèces forestières.

On distingue sept (7) types biologiques. Les mésophanérophyles (32,9 %), les thérophyte (28,8 %) (Figure 6a). Par contre les lianes nanophanérophyles, les chaméphytes et les hémicryptophytes sont les moins présentes.

#### Diversité spécifique de la forêt communautaire de Nassibik

La flore recensée est de 41 espèces réparties en 36 genres et 22 familles. Les espèces les plus représentées sont *A. leiocarpa* (19,7 %), *Senna tora* (16,4 %), *T. grandis* (12,2%), *Crossopteryx febrifuga* (G. Don) Benth. (9,8 %), *Sida acuta* Burm.f. ssp. *acuta* (7,7 %) et *P. polystachion* (6,8 %). Les familles les plus représentées en termes de nombre d'espèces sont les Verbenaceae (29,5 %), les Combretaceae (18,3 %), Leguminosae-Caesalpinioideae (16,8 %), les Poaceae (7,9 %), Solanaceae (5,9 %), Malvaceae (5,6 %) et les Rubiaceae (4,6 %). Les 12 familles restantes sont sous-représentées.

Les espèces SZ (73,6 %) sont les plus représentées. Elles sont secondées par les espèces introduites (15,9 %) représentées en particulier par *T. grandis* et *Senna siamea*. Les espèces GC-SZ occupent 10,5 %.

Les types biologiques dominants dans la forêt communautaire de Nassibik sont les mésophanérophyles (56,0 %). Cette caractéristique montre la forte représentativité des espèces de forêts claires et de savanes boisées. On note une absence de mégaphanérophyles (Figure 6b).

#### Diversité spécifique de la forêt communautaire de Yakandjido

La florule recensée est de 52 espèces réparties en 46 genres et 22 familles. Les espèces les plus représentées sont *Allophyllus africanus* (15,6 %), *Pennisetum pedicel-*

*latum* (13,3 %), *Vernonia galamensis* (Cass.) Less. (10,8 %), *Rourea coccinea* (9,2 %), *Pennisetum polystachion* (7,7%) et *Tridax procumbens* L. (7,7%). Les autres espèces sont moins fréquentes. Les familles les plus représentées sont les Sapindaceae (25,8 %), les Connaraceae (15,1%), les Poaceae (13,0 %) et les Asteraceae (12,8 %). Les 18 familles restantes sont sous-représentées en termes de nombre d'espèces.

Les espèces végétales présentent une affinité forestière avec une dominance des espèces GC avec 79,1 %. Les espèces de transition, GC-SZ et les espèces SZ viennent respectivement en seconde et troisième position avec respectivement 11,3 % et 8,5 %. On note une quasi-absence d'espèces introduites (I) représentées par le Senna du Siam planter au cours de l'année 2021.

Les types biologiques dominants dans la forêt communautaire de Yakandjido sont les chaméphyte (25,7%), les lianes nanophanérophyle (23,1 %), les thérophyte (22,1 %) et les mésophanérophyles (15,6 %). Les microphanérophyle, les hémicryptophytes et les lianes microphanérophyles sont sous-représentés (Figure 6c). On note une absence de mégaphanérophyles. Cette typologie ressort le caractère stationnel de la forêt imputable au régime climatique.

#### Caractéristiques forestières de la forêt communautaire de Namab

La densité d'arbres est de 47 tiges/ha. Le diamètre moyen des arbres dans la forêt de Namab est évalué à  $10,0 \pm 8,4$  cm pour une hauteur moyenne de  $5,2 \pm 3,2$  m. La surface terrière quant à elle est évaluée à  $5,6$  m<sup>2</sup>/ha. La capacité de stockage de carbone au sein de la FCNam est de  $0,4 \pm 0,01$  t/ha.

La densité moyenne de régénération est de 411 tiges/ha. Les espèces les plus représentées sont *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. (82 tiges/ha), *Securidaca longepedunculata* Fresen. (19 tiges/ha), *Piliostigma thonningii* (Schumach.) Milne-Redh. (15 tiges/ha), *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. & Dalziel (13 tiges/ha) et *Vitellaria paradoxa* (12 tiges/ha).

La répartition des arbres en classes de diamètres est en «J» renversé et les classes de hauteurs en cloche dissymétrique gauche (Figure 7). Cette structure montre une prédominance des individus de faibles diamètres et hauteurs.

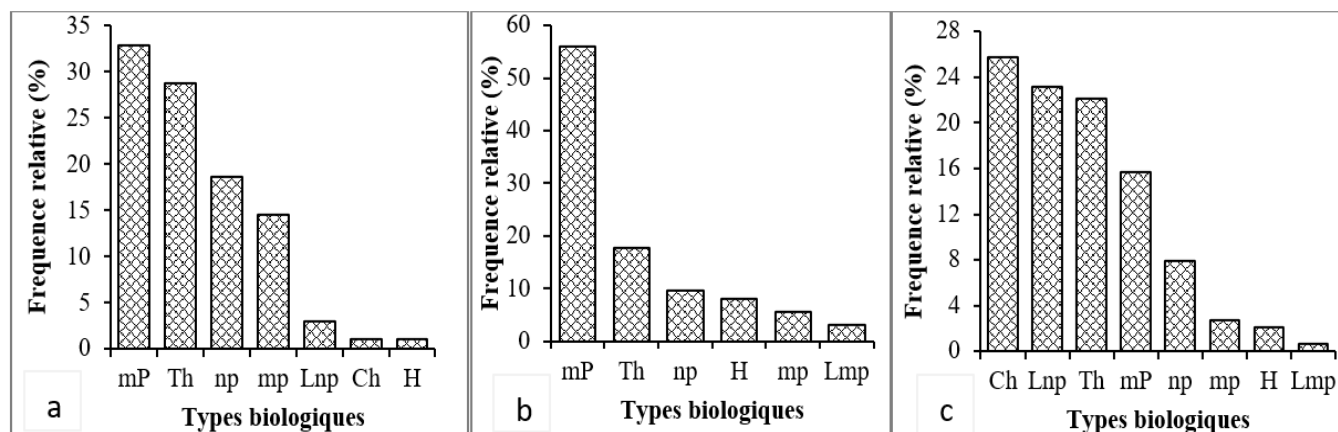


Figure 6: Spectre biologique des espèces végétales des forêts communautaires de la préfecture de Dankpen au Togo : (a) Namab, (b) Nassibik et (c) Yakandjido

mp = Microphanérophyle (lorsque les initiales sont précédées de L, il s'agit de lianes) ; np = Nanophanérophyle ; Th = Thérophyte ; Ch = Chaméphyte ; mP = Mésophanérophyle ; H = Hémicryptophyte



**Caractéristiques forestières de la forêt communautaire de Nassibik**

Les forêts claires/savanes boisées sont les occupations qui ont les densités d'arbres les plus élevées (100 tiges/ha). Les champs/jachères ont une densité de 38 tiges/ha. Le diamètre moyen des arbres dans la forêt de Nassibik est évalué à  $10 \pm 8,42$  cm. La hauteur moyenne des arbres est de  $5,24 \pm 3,2$  m. La surface terrière quant à elle est évaluée à  $7,03$  m<sup>2</sup>/ha. La capacité de stockage de carbone au sein de la forêt de Nassibik est de  $2,63 \pm 0,03$  T/ha.

Dans les forêts claires/savanes boisées, la densité moyenne de régénération est de 195 tiges/ha. Les espèces les plus représentées sont *Anogeissus leiocarpus* (110 tiges/ha), *Azadirachta indica* (22 tiges/ha), *Acacia seyal* (19 tiges/ha), *Feretia apodanthera* (13 tiges/ha), *Annona senegalensis* (8 tiges/ha) et *Tectona grandis* (8 tiges/ha).

Dans les champs/jachères, la densité de régénération est évaluée à 38 tiges/ha. Les espèces recensées sont *Tectona grandis* (45 tiges/ha), *Acacia seyal* (15 tiges/ha), *Anogeissus leiocarpus* (10 tiges/ha) et *Terminalia laxiflora* (5 tiges/ha).

La répartition des tiges par classes de diamètres donne une allure en en J renversé dans tous les groupes de formations de la FC Nassibik (Figure 8). La structure en hauteur est en cloche au niveau des Forêts claires/savanes boisées avec un coefficient de forme de distribution de Weibull  $c = 2,81$  montrant une bonne représentativité des individus de moyennes hauteurs. Par contre les individus de faibles hauteurs sont les plus représentés dans les champs/jachères. Dans ces derniers, on note une absence des individus de hauteurs de plus de 10 m.

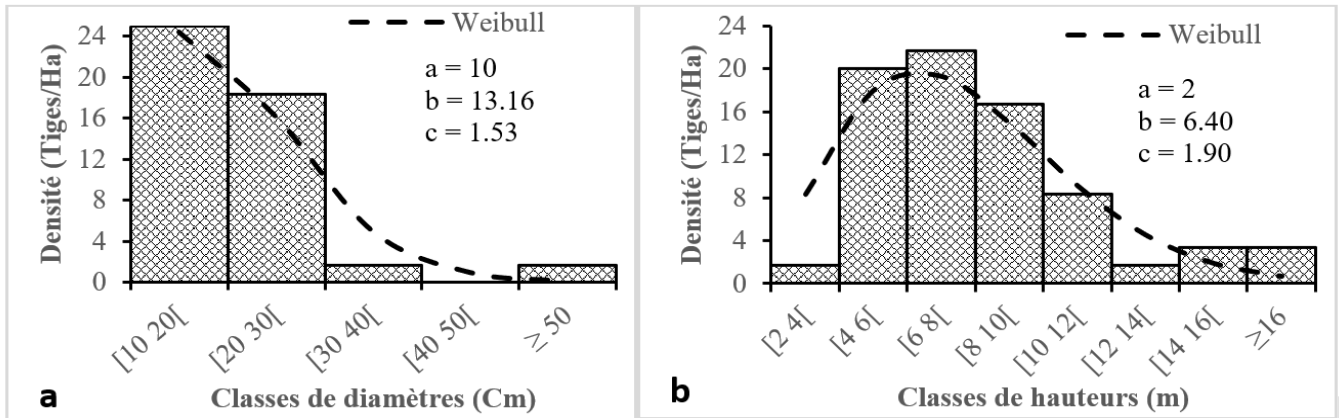


Figure 7: Structure en diamètres (a) et hauteurs (b) des ligneux des forêts claires/savanes boisées de la FCNam

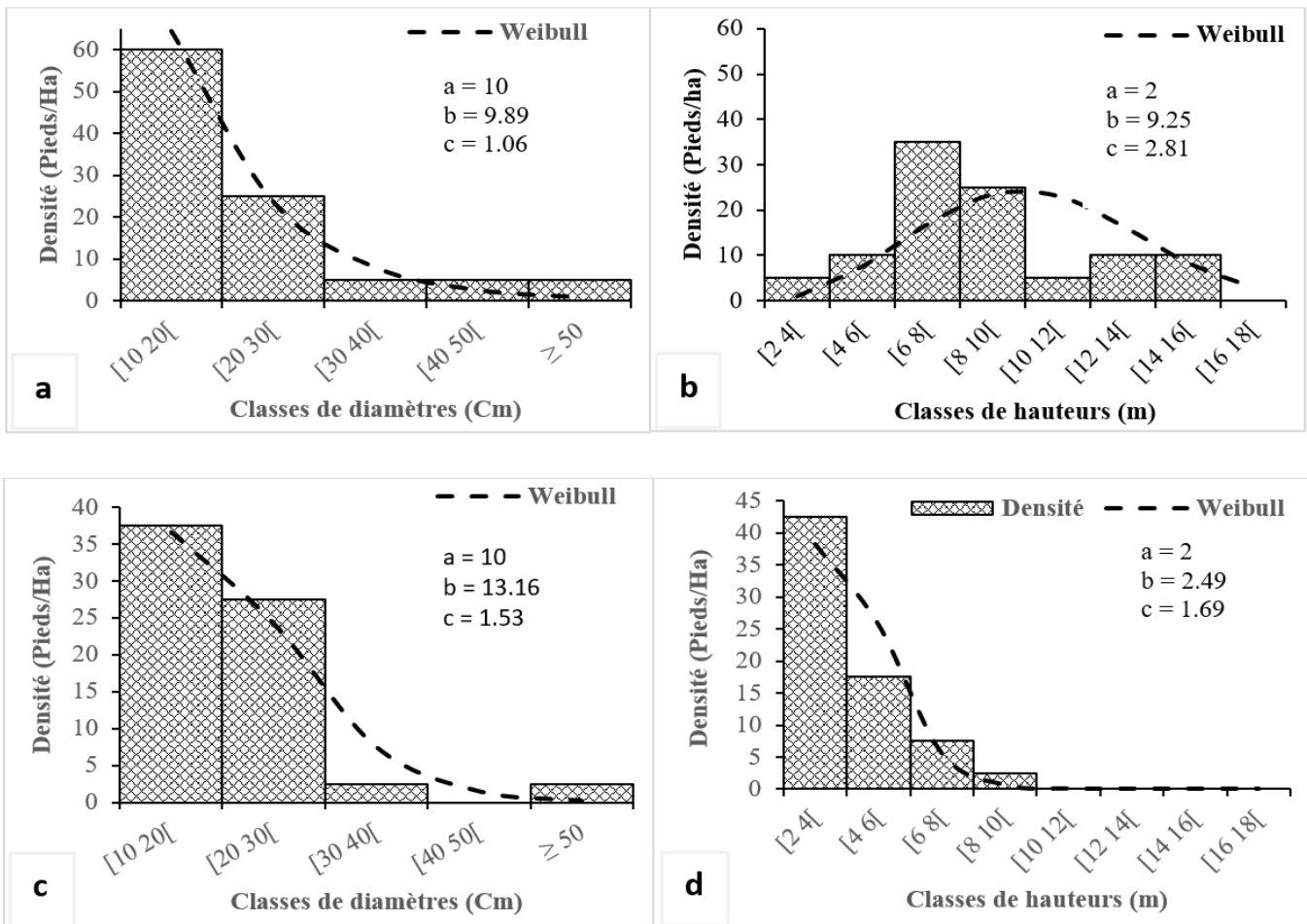


Figure 8: Structure démographique des formations ligneuses de la forêt communautaire de Nassibik: Forêts claires/savanes boisées (a & b) et Champs/Jachères (c & d)

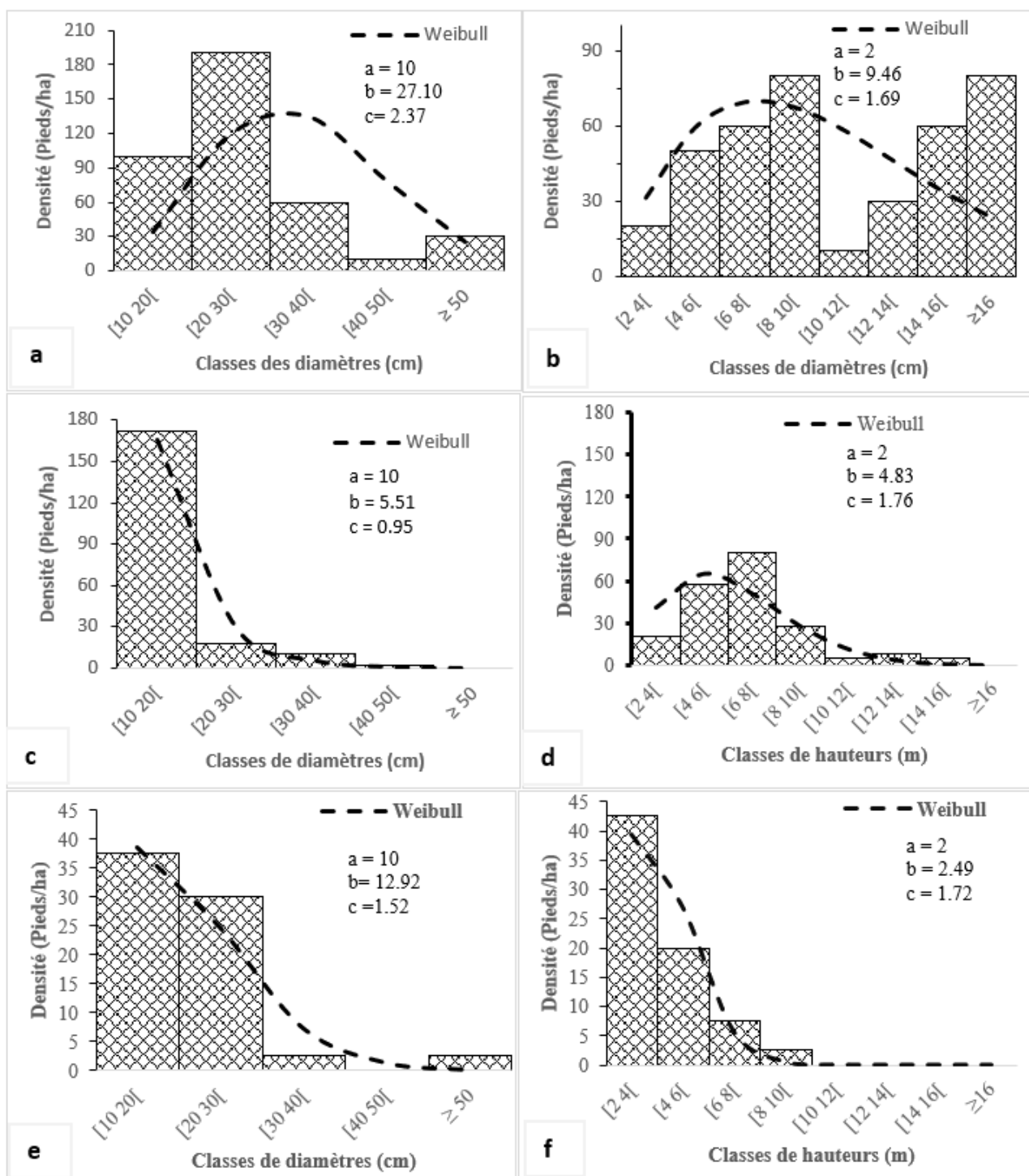
### Caractéristiques forestières de la forêt communautaire de Yakandjido

Les densités et les hauteurs moyennes les plus élevées se retrouvent au niveau des forêts claires/savanes boisées (390 tiges/ha; 10,4 m). Par contre, les plus faibles sont rencontrés dans les champs/jachères (70 tiges/ha, 4,20 m).

Cependant le diamètre moyen le plus faible correspond aux savanes arborées/arbustives (Tableau 1). La surface terrière étant une conséquence de la densité et du diamètre des individus en fonction de la surface, elle demeure plus élevée dans les formations forestières et moins dans les champs/jachères.

**Tableau 1: Principales caractéristiques forestières des occupations de la forêt communautaire de Yakandjido**

Paramètres structuraux	Type d'occupation du sol		
	Forêts claires/savanes boisées	Savanes arborées/arbustives	Champs/jachères
Densité (N/ha)	390	203	70
Diamètre moyen (cm)	26,0 ± 10,9	15,2 ± 6,7	21,6 ± 8,4
Hauteur moyenne (m)	10,4 ± 5,1	6,3 ± 2,6	4,2 ± 1,5
Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)	24,1	17,6	11,7



**Figure 9: Structure démographique des formations ligneuses de la forêt communautaire de Yankandjido dans la préfecture de Dankpen**

La régénération est très abondante dans les forêts claires/savanes boisées (630 tiges/ha). Les espèces les plus représentées sont *D. mespiliformis* (360 tiges/ha), *Allophylus africanus* P. Beauv. (160 tiges/ha), *Hexalobus monopetalus* (A. Rich.) Engl. & Diels (60 tiges/ha), *Anogeissus leiocarpus* (40 tiges/ha) et *Trichilia emetica* Vahl (10 tiges/ha).

Dans les savanes arborées/arbustives, la densité de régénération est de 575 tiges/ha. Les espèces les plus représentées sont *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. & Dalziel (195 tiges/ha), *Combretum collinum* Fresen. (85 tiges/ha), *Terminalia macroptera* Guill. & Perr. (75 tiges/ha), *Isobertinia doka* Craib & Stapf (58 tiges/ha), *Ficus sur* Forssk. (53 tiges/ha) et *Anogeissus leiocarpus* (38 tiges/ha). Les espèces les plus représentées sont celles caractéristiques des forêts claires et forêts denses sèches. Ceci montre qu'une simple mise en défend de ces formations contre les feux de végétation, le pâturage et la coupe suffisent pour restaurer et transformer ces formations en forêts.

Les champs/jachères ont une densité de régénération évaluée à 15 tiges/ha. Les espèces recensées sont *Parkia biglobosa* (Jacq.) R.Br. ex Benth. (5 tiges/ha), *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. & Dalziel (5 tiges/ha), *Crossopteryx febrifuga* (G. Don) Benth. (3 tiges/ha) et *Combretum collinum* Fresen. (3 tiges/ha). L'action humaine est la principale cause de cet état. Une restauration à travers la mise en place des plantations est nécessaire.

À l'exception des Forêts claires/savanes boisées de la FCY qui a une structure diamétrique en cloche, les autres formations végétales ont une structure en J renversé (Figure 9a, c & e). Ces structures ressortent respectivement une abondance des individus de moyens diamètres et de faibles diamètres. La distribution des tiges par classe de hauteur présente une allure en cloche dissymétrique gauche dans les Forêts claires/Savanes boisées et les savanes arborées/arbustives et une structure en J renversé dans les Champs/Jachères (Figure 9b, d & f).

## DISCUSSION

On distingue quatre (4) principales unités d'occupations du sol dans les FCs de la préfecture de Dankpen: les forêts claires/savanes boisées, les savanes arborées/arbustives, les champs/jachères et les habitations. Les habitations ne s'observent que dans la FCNas. On note une variation des unités d'occupation du sol en fonction du degré de la pression anthropique antérieure. Dans la FCNam, on distingue principalement deux (2) unités d'occupation du sol: les savanes arborées/arbustives et les champs/jachères. Globalement on ne distingue pas de formations denses comme ce qui est rapporté dans les études antérieures dans la partie australe de la zone d'étude (Akakpo *et al.*, 2017; Atakpama *et al.*, 2017; Atsri *et al.*, 2018). Cette différence est imputable au régime climatique de la zone moins favorable à la mise en place de formations plus denses, mais aussi à la pression anthropique. Bien qu'il n'existe pas de zone humide au niveau des FCs étudiées, l'abondance des Rubiaceae ressort un caractère situationnel un peu plus humide (Polo-Akpisso *et al.*, 2015) susceptible de permettre un développement des espèces forestières en particulier dans la FCY.

La diversité globale recensée dans les FC de la préfecture de Dankpen est de 84 espèces herbacées et ligneuses. Cette flore est très nettement inférieure à celles recensées au sein des aires protégées (Folega *et al.*, 2012; Polo-Akpisso *et*

*al.*, 2015) et les bosquets sacrés (Atakpama *et al.*, 2021b; Atakpama *et al.*, 2022) de la zone écologique I. Cette différence s'explique par la différence en termes de superficie entre les l'occupation spatiale des FCs de la préfecture de Dankpen et les APs et les bosquets sacrés situés dans la même zone écologique. Cependant, la comparaison de la flore des trois FCs étudiées ressort une diversité inversement proportionnelle à la superficie. Cette situation s'explique par les différences écologiques desdites forêts. Les conditions d'humidité sont plus élevées dans la FCY que dans la FCNam. Ceci justifie la plus grande diversité de la FCY, deux fois plus diversifiée que la FCNam qui est la plus étendue, mais la moins diversifiée.

Les conditions plus humides de la FCY ressortent à travers l'abondance des chaméphytes et la présence des lianes mésophanérophytes absentes dans la FCNam (Raunkjær, 1934). L'existence des espèces lianescentes, notamment au sein de la FCY montre le caractère plus protégé de cette dernière par comparaison à la FCNas où il y a une quasi-absence. Les microphanérophytes sont globalement les espèces les plus représentées notamment dans les FCNa et FCNas. Cette dominance des microphanérophytes dans la flore de la zone écologique I est relevée par les études antérieures (Dimobe *et al.*, 2012; Atakpama *et al.*, 2021b; Atakpama *et al.*, 2022).

La quasi-absence des espèces introduites dans la FCY et la très large représentativité des espèces introduites, un peu plus de la moitié dans la FCNam ressort clairement la typologie des écosystèmes desdites forêts. La première est quasiment composée des plantes spontanées tandis que la seconde est plus anthropogénique. Le caractère anthropogène de la FCNam est comparable à celui de la FC de Amavénou dans la préfecture d'Agou au sud du Togo (Atakpama *et al.*, 2017).

On note une forte représentativité des espèces forestières dans la FCY tandis que les espèces savaniques, soudano-zambéziennes sont les plus prépondérantes dans la FCNam. La prédominance des espèces forestières rapproche la FCY des écosystèmes des zones guinéennes et de transition (Polo-Akpisso *et al.*, 2015; Atakpama *et al.*, 2017). Par contre la prédominance des espèces soudano-zabéziennes est typique aux caractéristiques situationnelles de la zone écologique I soumise à un déficit hydrique (Ern, 1979). La différence écologique des deux (2) FCs se remarque aussi en se référant aux familles les plus abondantes. La dominance des Combretaceae dans la FCNam et des Sapindaceae dans la FCY. Les Combretaceae sont caractéristiques typiques des savanes soudaniennes (Aubreville, 1950). Leurs prépondérances montrent aussi une vulnérabilité des écosystèmes au feu de végétation (Atakpama *et al.*, 2019). Par conséquent, la surveillance et la protection contre les feux de végétation devraient être plus accrues et plus précoces au niveau de la FCNam.

Les densités les plus importantes s'observent dans la FCY et dans la formation forestière tandis que la plus faible correspond à la FCNab et les champs/jachères. Ce résultat se justifie par l'intensité des activités anthropiques, la collecte du bois-énergie et la mise en culture des terres. La mise en place d'un champ s'accompagne de la réduction de la densité des arbres et la sélection des plantes jugées utilitaires. La réduction de la couverture de la couronne à travers l'élagage afin de favoriser l'infiltration de la lumière explique aussi les faibles hauteurs moyennes et les diamètres moyens élevés au sein des champs/jachères. L'implication de la mise en culture de la végétation dans

la réduction de la diversité et de la densité des arbres, le diamètre moyen et la hauteur ainsi que la sélection endogène des espèces sont rapportés dans les études sur les agrosystèmes de la zone soudanienne du Togo (Wala *et al.*, 2005; Padakale *et al.*, 2015). L'intensité des activités anthropiques est corrélée avec la réduction du taux de régénération des espèces. En particulier la collecte des différents organes à des fins d'usages diverses constitue les causes de la vulnérabilité des espèces utilitaires et multiples annulant parfois la régénération de ces dernières (Padakale *et al.*, 2015; Badjare *et al.*, 2021; Samarou *et al.*, 2021; Samarou *et al.*, 2022).

La variation des paramètres dendrométrique est fonction des formations végétales et des FCs. La structure diamétrique en cloche et la présence des individus de gros diamètre s'observent uniquement dans les forêts claires/savanes boisées dans la FCY qui paraît la moins exposée aux activités anthropiques. Par contre, une structure en « J » renversée avec absence des individus de diamètres plus importants se remarque au sein des autres formations et FCs. Cette structure ressort la prédominance des jeunes individus dans les écosystèmes. Ce résultat est comparable à celles des peuplements ligneux de la plupart des FC du Togo (Atakpama *et al.*, 2017; Folega *et al.*, 2017a; Folega *et al.*, 2017b; Bawa *et al.*, 2022). L'anthropisation de ces FCs est l'une des causes de cet état de peuplement. Cependant le taux élevé de régénération est une chance pour une recolonisation et une reconstitution de ces formations (Atakpama *et al.*, 2017).

## CONCLUSION

La présente étude ressort les superficies des FCs mis en place dans la préfecture de Dankpen, région de la Kara au Togo: 23 ha; 22,1 ha et 7,0 ha respectivement à Namab, Nassibik et Yakandjido. Elle ressort une absence des formations forestières dans la FC Nam et un peu plus de la moitié des FCNas et de la FCY occupée par les forêts claires et savanes boisées. Sur le plan floristique, on note une plus grande diversité de plantes dans la FCY qui reste la moins étendue, 52 espèces contre 26 espèces dans la FCNam qui est la plus étendue. La structure démographique ressort dans la majorité des cas une prédominance des jeunes individus. L'abondance des individus de diamètres moyens se remarque en particulier dans les formations forestières de la FCY. Ces structures montrent la pression humaine récente dans ces formations. Cependant la présence remarquable des individus juvéniles constitue une chance pour une reconstitution de ces formations. Par conséquent la poursuite des actions de protection et de restauration des formations est encouragée. La meilleure préservation de la biodiversité doit aussi passer par l'amélioration des revenus des riverains à travers la mise en œuvre des activités génératrices de revenus. La mise en place des plantations de bois énergie en vue de pallier aux déficits énergétiques des ménages est aussi important.

## Remerciements

Nos remerciements au Mécanisme Forêt-Paysan de la FAO (FFF LoA LBEV 2021) dont le financement a permis la collecte des données utilisées dans la rédaction de cet article.

## RÉFÉRENCES

- Akakpo KM, Quensière J, Gadal S, Kossi A, Kokou K (2017). Caractérisation et dynamique spatiale de la couverture végétale dans les aires protégées du Togo: étude par télédétection satellitaire de la forêt classée de Missahoé dans la région des plateaux. *Revue internationale de géomatique, aménagement et gestion des ressources*, 1: 181-194.
- Aké Assi L (1984). Flore de la Côte d'Ivoire: Étude descriptive et biogéographique avec quelques notes ethnobotaniques. Thèse de doctorat d'État, Faculté de Sciences et Techniques, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Atakpama W, Agbetanu KMW, Atara LL, Biaou S, Batawila K, Akpagana K (2021a). Biodiversité et gestion des feux de végétation dans la réserve de faune d'Abdoulaye au Togo. *Rev. Sci. Technol., Synthèse*, 27: 51-64.
- Atakpama W, Amegnaglo KB, Afelu B, Folega F, Batawila K, Akpagana K (2019). Biodiversité et biomasse pyrophytes au Togo. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 19 (3).
- Atakpama W, Asseki E, Kpemissi Amana E, Koudegnan C, Batawila K, Akpagana K (2018). Importance socio-économique de la forêt communautaire d'Edouwossi-copé dans la préfecture d'Amou au Togo. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 6: 55-63.
- Atakpama W, Badjare B, Woegan YA, Amouzou FKG, Kpadjao M-E, Akpagana K (2022). Écologie des bosquets sacrés de la préfecture de Tone dans la Région des Savanes au Togo. *Espace Géographique et Société Marocaine*, 1: 47-69.
- Atakpama W, Folega F, Azo AK, Pereki H, Mensah K, Wala K, Akpagana K (2017). Cartographie, diversité et structure démographique de la forêt communautaire d'Amavénou dans la préfecture d'Agou au Togo. *Rev. Géog. Univ. Ouagadougou*, 2: 59-82.
- Atakpama W, Folega F, Kpadjao M-E, Amouzou FKG, Ahouadjinou ÉBO, Woegan YA, Akpagana K (2021b). Problématique de gestion durable de la biodiversité des bosquets sacrés de la Région des Savanes au Togo. *Rev. Sci. Technol., Synthèse*, 27: 22-32.
- Atsri HK, Konko Y, Cuni-Sanchez A, Abotsi KE, Kokou K (2018). Changes in the West African forest-savanna mosaic, insights from central Togo. *PloS one*, 13: e0203999.
- Aubreville A (1950). Flore Forestière Soudano-guinéenne, Afrique Occidentale Française-Cameroun-Afrique Équatoriale Française. Société d'Édition Géographiques Maritimes et Coloniales, Paris.
- Badjana H, Houkpè K, Wala K, Batawila K, Akpagana K, Edjamé KS (2014). Analyse de la variabilité temporelle et spatiale des séries climatiques du nord du Togo entre 1960 et 2010. *Eur. Sci. J.*, 10: 257-275.
- Badjare B, Woegan YA, Folega F, Atakpama W, Wala K, Akpagana K (2021). Vulnérabilité des ressources ligneuses en lien avec les différentes formes d'usages au Togo: Cas du paysage des aires protégées Doungh-fosse aux lions (Région des Savanes). *Revue Agrobiologia*, 11: 2552-2565.
- Bawa DM-E, Fousseni F, Abalo A, Diwediga B, Wala K, Koffi A (2022). Caractéristiques floristiques et structurales de la forêt communautaire d'Agbandi au centre du Togo (Afrique de l'ouest). *Rev. Écosystèmes et Paysages*, 2: 55-74.
- Braun-Blanquet J (1932). Plant sociology, New York & London.
- Dimobe K, Wala K, Batawila K, Dourma M, Woegan YA, Akpagana K (2012). Analyse spatiale des différentes formes de pressions anthropiques dans la réserve de faune de l'Oti-Mandouri (Togo). *VertigO Rev. Electro. Sci. Envi., Hors-série*, 14.
- Diwediga B, Batawila K, Wala K, Houkpè K, Gbogbo AK, Akpavi S, Tatoni T, Akpagana K (2012). Exploitation agricole des berges: une stratégie d'adaptation aux changements climatiques destructrice des forêts galeries dans la plaine de l'Oti. *African Socio. Rev.*, 16: 77-99.
- Egbelou H, Atakpama W, Dourma M, Folega F, Akpagana K (2021). Dynamique spatio-temporelle et flore de la forêt d'Aboudjokopé au Togo. *Rev. Sci. Technol., Synthèse*, 27: 37-50.

- Ern H (1979). Die Vegetation Togos, Gliederung, Gefährdung, Erhaltung. *Willdenowia*, 9: 295-315.
- Folega F, Atakpama W, Pereki H, Djiwa O, Dourma M, Abreni K, Wala K, Akpagana K (2017a). Potentialités écologiques et socio-économiques de la forêt communautaire d'Agbedougbe (Région des Plateaux-Togo). *J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo)*, 19: 31-50.
- Folega F, Pereki H, Woegan A, Dourma M, Atakpama W, Maza M, Akpagana K (2017b). Caractérisation écologique de la Forêt Communautaire d'Edouwossi-Cope (Région des Plateaux-Togo). *J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo)*, 19: 47-61.
- Folega F, Zhao X, Batawila K, Zhang C, Huang H, Dimobe K, Pereki H, Bawa A, Wala K, Akpagana K (2012). Quick numerical assessment of plant communities and land use change of Oti prefecture protected areas (North Togo). *African J. Agri. Res.*, 7: 1011-1022.
- Issifou A, Folega F, Kombate B, Atakpama W, Batawila K, Ketoh GK, Akpagana K (2022). Cartographie participative des terroirs riverains de la réserve de faune d'Abdoulaye au Togo. *Rev. Écosystèmes et Paysages*, 1: 83-97.
- Mangolini M, Ranchin T, Wald L (1993). Fusion d'images SPOT multispectrale (XS) et panchromatique (P), et d'images radar. De l'optique au radar, les applications de SPOT et ERS: 199-209.
- Padakale E, Atakpama W, Dourma M, Dimobe K, Wala K, Akpagana K (2015). Woody species diversity and structure of *Parkia biglobosa* Jacq. Dong parklands in the sudanian zone of Togo (West Africa). *Annual Review & Research in Biology*, 6: 103-114.
- Polo-Akpiisso A, Wala K, Ouattara S, Woegan YA, Coulibaly M, Atato A, Atakpama W, Nare MT, Tano Y, Akpagana K (2015). Plant Species Characteristics and Woody Plant Community Types within the Historical Range of Savannah Elephant, *Loxodonta africana* Blumenbach 1797 in Northern Togo (West Africa). *Annual Research & Review in Biology*, 7: 283-299.
- Polo-Akpiisso A, Wala K, Soulemane O, Folega F, Akpagana K, Tano Y (2020). Assessment of Habitat Change Processes within the Oti-Keran-Mandouri Network of Protected Areas in Togo (West Africa) from 1987 to 2013 Using Decision Tree Analysis. *Sci.*, 2: 19.
- Raunkiaer C (1934). The life forms of plants and statistical plant geography; being the collected papers of C. Raunkiaer. Oxford.
- Rompré G, Boucher Y, Bélanger L, Côté S, Robinson WD (2010). Conservation de la biodiversité dans les paysages forestiers aménagés: utilisation des seuils critiques d'habitat. *The Forestry Chronicle*, 86: 572-579.
- Samarou M, Atakpama W, Folega F, Dourma M, Wala K, Batawila K, Akpagana K (2022). Caractérisation écologique et structurale des parcs à tamarinier (*Tamarindus indica* L., Fabaceae) dans la zone soudanienne du Togo (Afrique de l'Ouest). *Rev. Écosystèmes et Paysages*, 1: 109-125.
- Samarou M, Atakpama W, Kanda M, Tchacondo T, Batawila K, Akpagana K (2021). *Tamarindus Indica* L. (Fabaceae) in ecological zone I of Togo: use value and vulnerability. *Int. J. Compl. Alt. Med.*, 14: 307-315.
- Tchalla K (2015). Dynamique démographique et peuplement de la région de la Kara au Togo. Une analyse à base des données des recensements généraux de la population de 1970 à 2010. *Sciences Humaines*, 1: 159-179.
- Thiombiano A, Glèlè Kakaï R, Bayen P, Boussim J, Mahamane A (2015). Méthodes et dispositifs d'inventaires forestiers en Afrique de l'Ouest: état des lieux et propositions pour une harmonisation. *Ann. Sci. Agron.*, 19: 15-31.
- Wala K, Sinsin B, Guelly KA, Kokou K, Akpagana K (2005). Typologie et structure des parcs agroforestiers dans la préfecture de Doufelgou (Togo). *Sécheresse*, 16: 209 - 216.
- White F (1986). La végétation de l'Afrique-Recherches sur les ressources naturelles. ORSTOM-UNESCO, Paris.

# Variabilité morphologique de la population de Baobab (*Adansonia digitata* L.) dans la ville de Ziguinchor, Sénégal

M. M. CHARAHABIL<sup>1</sup>, M. DIENG<sup>1</sup>, A. DIOUF<sup>2</sup>, M. TENDENG<sup>3</sup>, L. NDIAYE<sup>1</sup>, P. NDIAYE<sup>4</sup>

(Reçu le 05/10/2022; Accepté le 10/11/2022)

## Résumé

Le Baobab, *Adansonia digitata* L., espèce emblématique du Sénégal est l'une des principales espèces ligneuses à usages multiples que l'on rencontre dans le paysage urbain et périurbain en Afrique inter-tropicale. Cet arbre, charismatique et souvent mystérieux, reste au cœur des politiques urbaines, car participant de façon significative à l'amélioration du cadre de vie de ses résidents et à l'écologie urbaine. Cette étude s'est fixée comme objectif de décrire la variabilité morphologique de sa population dans la ville de Ziguinchor et de caractériser les morphotypes éventuels. Pour ce faire, une description morphologique a été effectuée sur 67 individus répartis dans sept (7) quartiers de la ville. Grâce à la méthode d'optimisation des clusters et à une classification hiérarchique, deux morphotypes ont été identifiés. Le morphotype 1 à gros fruits, lourds et majoritairement des formes ovales. Leurs feuilles sont petites contrairement au morphotype 2, caractérisé par des individus aux grandes feuilles avec des petits et légers fruits. L'analyse multivariée des variances par permutations (permanova) a montré que les variables qualitatives tels la déformation fruit, le bord côtelé ou non, la forme du sommet et de la base du fruit n'a pas d'effet significatif sur la variabilité des individus de la population de baobabs étudiée.

**Mots clés:** *Adansonia digitata* L., Diversité, morphotype, milieu urbain, clustering

## Morphological variability of the Baobab (*Adansonia digitata* L.) population in the city of Ziguinchor, Senegal

### Abstract

The Baobab, *Adansonia digitata* L., an emblematic species of Senegal, is one of the main multipurpose woody species found in the urban and peri-urban landscape in inter-tropical Africa. This charismatic and often mysterious tree remains at the heart of urban policies, as it plays a significant role in improving the living environment of its residents and in urban ecology. The objective of this study was to describe the morphological variability of its population in the city of Ziguinchor and to characterize the possible morphotypes. To do this, a morphological description was carried out on 67 individuals distributed in seven (7) neighborhoods of the city. Using the cluster optimization method and a hierarchical classification, two morphotypes were identified. Morphotype 1 with large, heavy fruits and mostly oval shapes. Their leaves are small in contrast to morphotype 2, characterized by individuals with large leaves and small and light fruits. The multivariate analysis of variance by permutations (permanova) showed that qualitative variables such as fruit deformation, ribbed or not, shape of the top and base of the fruit have no significant effect on the variability of the individuals of the baobab population studied.

**Keywords:** *Adansonia digitata* L., diversity, urban, morphotype, Ziguinchor, cluster

## INTRODUCTION

Le baobab (*Adansonia digitata* L.) est une espèce à usages multiples utilisée à des fins alimentaires, médicinales, culturelles et économiques en Afrique (Assogbadjo, 2010). Ses feuilles constituent une excellente source de protéines et contiennent tous les acides aminés essentiels, ainsi que la plupart des acides aminés non essentiels. Ses fruits (le «pain de singe») ont également une forte teneur en minéraux et en vitamines A et C (Assogbadjo et Loo, 2011). Il fournit également des fibres (écorce) utilisées pour fabriquer de la corde, du fourrage pour le bétail (feuilles) et des produits médicinaux obtenus à partir de différentes parties de l'arbre et utilisés pour traiter diverses maladies (Assogbadjo et Loo, 2011). Il est aussi reconnu comme source de revenus, d'où l'attention particulière accordée à ses produits dans le commerce national et sous-régional (Bationo, 2009). L'arbre serait enfin le dixième légume-feuille traditionnel consommé au Sénégal (Ndiaye et al., 2003).

Au vu de son importance écologique et de ses services d'approvisionnement multiples, des consultations régionales organisées par le Centre International pour les Cultures Sous-utilisées ont accordé une haute priorité à l'amélioration de la recherche et du développement de cette espèce (Sidibé et Williams, 2002). Dans ce cadre, plusieurs

études ont été entreprises, permettant d'indiquer la possible présence d'une grande variabilité génétique des métapopulations de l'espèce dans plusieurs pays. Les travaux de Pettigrew et al., (2012) suggèrent qu'il en existe deux espèces nettement différentes en Afrique continentale: une espèce tétraploïde *A. digitata* («baobab commune») et une voisine diploïde *A. kilima* («baobab des collines»), probablement présente à des altitudes plus élevées, avec une morphologie florale légèrement différente.

Par ailleurs, avec la dynamique de transformations importantes des villes et villages africains, le besoin des populations vis-à-vis des plantes devient de plus en plus marqué, (Polorigni et al., 2014). L'arbre se positionne ainsi au cœur des politiques urbaines, compte tenu de sa contribution significative à l'amélioration du cadre de vie de ses résidents et à l'écologie urbaine (Bœuf et Robert, 2017). En effet, les espaces verts, privés et publics (parcs urbains, jardins privés, toits et murs végétalisés, linéaires arborés, friches et espaces vacants), font en effet bénéficier à la ville et ses habitants d'une multiplicité de services écosystémiques (séquestration du carbone, régulation thermique, services de support de la biodiversité et des écosystémiques, d'approvisionnement et de purification de l'eau, espaces de loisirs, valorisation économique du foncier, purification de l'air, production via l'agroforesterie urbaine, etc.) (Tavin et

<sup>1</sup> Laboratoire d'Agroforesterie et d'Écologie, Université Assane Seck de Ziguinchor, Sénégal

<sup>2</sup> Laboratoire de Mathématiques et applications, Université Assane Seck de Ziguinchor, Sénégal

<sup>3</sup> Direction des Eaux et Forêts Chasses et de la Conservation des Sols, Dakar, Sénégal

<sup>4</sup> Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop, Dakar

Leseur, 2016). Le baobab, espèce emblématique du Sénégal est l'une de ces principales espèces ligneuses à usages multiples rencontrée dans le paysage urbain et périurbain en Afrique intertropicale.

Au Sénégal, comme partout en Afrique, les populations de baobab sont souvent plus vieilles que l'installation de l'homme dans certaines contrées urbaines et même rurales. La présence de ce dernier, qui a tendance à sélectionner et/ou maintenir les individus en fonction de ses besoins, pourrait constituer une menace sur la conservation de cette espèce et surtout sur sa diversité génétique (Badiane et Mbaye, 2019).

A Ziguinchor, les travaux de Charahabil *et al.*, (2018), ont classé le baobab parmi les cinq (5) espèces les plus fréquentes de la ville. Il s'agit aussi d'une espèce qui entre dans les principaux rites et traditions des populations de cette ville cosmopolite où subsiste une cohabitation entre tradition et modernisme. Il s'agit donc une espèce patrimoniale à mieux connaître pour la conserver. Tel est l'objectif principal de cette étude: contribuer à une meilleure connaissance de la diversité génétique du baobab pour une meilleure conservation. Il s'agit d'étudier la variabilité morphologique, afin d'identifier des morphotypes pour les caractériser et les localiser dans l'espace urbain. Des données génétiques et moléculaires viendront compléter l'étude de la variabilité.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Présentation du milieu

L'étude a été réalisée dans la Commune de Ziguinchor, chef-lieu de la région du même nom, ville composée de 27 quartiers repartis sur une superficie de 9 km<sup>2</sup>, entourée par des zones humides constituées en marigots et rizières. Elle est limitée au Nord par le fleuve Casamance, au Sud, à l'Est et à l'Ouest par la commune de Niaguis.

Le climat est de type Soudano-guinéen avec une température moyenne de 27°. La région de Ziguinchor constitue la partie la plus arrosée du Sénégal, en dépit d'une pluviométrie irrégulièrement répartie dans le temps et dans l'espace, avec une moyenne annuelle de 1254 mm pendant les trois décennies 1990-2020.

La forêt demi-sèche dense à deux étages, rencontrée dans la région apparaît caractéristique du domaine guinéen. La flore est la plus diversifiée du pays avec 1150 espèces végétales sur les 2500 espèces répertoriées (MEPN, 1997).

La région dispose d'une grande diversité ethnique et culturelle. Ce brassage ethnique fait de cette région l'une des plus cosmopolites du Sénégal. Les principales ethnies sont: Diola (57,8 %) majoritaire, Mandingue (11,1 %), Pulaar (10,5 %), Ouolof (3,9 %), Manjack (3,5 %), Balante (2,9 %), Sérère (2,7 %) et Mancagne (2,4 %) (ANSD, 2012). Les religions dominantes restent l'Islam (78 %) et le Christianisme (18 %), néanmoins, on trouve une forte communauté d'animistes et de païens dans le département d'Oussouye (32,7 %). L'économie de la région demeure largement dominée par le secteur primaire qui occupe les 90 % des actifs durant 3 à 4 mois dans l'année (Charahabil *et al.*, 2018). Ce secteur comprend principalement l'agriculture, essentiellement hivernale et tributaire des aléas climatiques, l'exploitation forestière, la pêche et l'élevage. Il s'y ajoute l'artisanat et le commerce. Les différents types de cultures pratiquées dans la région portent sur les cultures céréalières, cultures de rente et cultures maraîchères.

### Méthodes d'étude

Une phase de prospection a consisté au repérage des quartiers de la ville ayant de grands sujets de baobab. Dans le cas où ces derniers se trouvent dans une concession ou un domaine protégé, des responsables ont été identifiés et des accords établis pour la récolte de fruits. Les arbres identifiés et ciblés pour les mesures ont été étiquetés et géoréférencés pour établir une liste d'occurrences.

La récolte des fruits et des feuilles a été effectuée entre décembre 2019 et Février 2020. Pour chaque individu, la récolte a porté sur 5 à 10 fruits et sur 3 à 5 feuilles/arbre. La hauteur et la circonférence de l'arbre ont nécessité l'usage d'un blum leiss et d'un ruban mètre. La description standard des critères phénotypiques des baobabs (Figure 1) a retenu la méthode IPBGR (1986).

L'ensemble des mesures et observations ont permis d'obtenir une matrice de 20 variables, composée de 15 variables quantitatives et 5 variables qualitatives.

### Traitement et analyse des données

Des méthodes d'analyse multivariées ont servi à établir la variabilité morphologique des baobabs. Un clustering, est réalisé pour regrouper les points les plus proches, ou les plus semblables. Le concept de clustering repose fortement sur les distances de similarité (Cleuziou, 2004). A partir de la matrice des données (67 individus de baobabs/paramètres de fruits, feuilles et dendrométriques), le clustering a cherché à définir des groupes stables de baobab similaires (clusters), susceptibles de constituer des morphotypes. Les études génétiques pourront ensuite survenir, pour définir éventuellement des variétés ou des sous-espèces dans ces groupes.

Pour estimer le nombre optimal de clusters à définir, la méthode de la silhouette moyenne a été utilisée. L'idée consiste à calculer l'algorithme PAM en utilisant diffé-

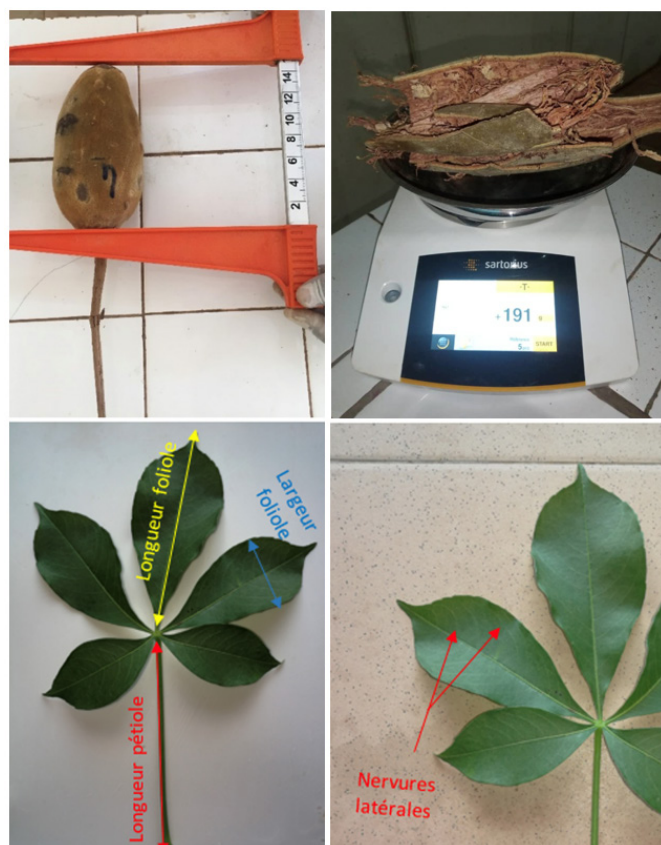


Figure 1: Mensuration des fruits et feuilles

rentes valeurs de clusters  $k$ . Ensuite, la silhouette moyenne des grappes est dessinée en fonction du nombre de grappes. La silhouette moyenne mesure la qualité d'un regroupement. Une silhouette moyenne à haute largeur indique un bon regroupement. Le nombre optimal de clusters  $k$  correspond à celui qui maximise la silhouette moyenne sur une plage de valeurs possibles pour  $k$  (Kaufman et Rousseeuw, 1990).

Une ACP a été réalisée sur la matrice 67 individus /15 variables quantitatives et a permis d'établir les corrélations entre les variables (15 variables quantitatives) et définir la classification des individus (67 pieds de baobab). L'influence des paramètres qualitatifs (déformation, bords côtelés, forme fruit, forme base du fruit, forme sommet du fruit) sur la variabilité des individus a été évaluée à l'aide d'une analyse multivariée des variances par permutations (permanova) se basant sur la méthode de distance de Bray-Curtis (Bray et Curtis, 1957). Les valeurs de cet indice sont comprises entre 0, si les deux échantillons ont la même composition et 1, si les échantillons apparaissent totalement dissemblables (Bloom, 1981). Chaque variable qualitative, d'abord testée séparément avec l'ensemble des variables quantitatives, fait l'objet de tests ensemble avec des combinaisons allant de 2 à 5 pour voir si elle a un effet de dispersion sur les individus.

À l'aide du logiciel Arc GIS version 10.4.1, la liste d'occurrence des espèces a été convertie en fichier spatial de format Shapefile (Shp). Les individus ont ensuite été catégorisés en deux groupes: le groupe 1 correspondant au morphotype 1, auxquels la couleur marronne a été affectée et le groupe 2 correspondant au morphotype 2, auxquels la couleur verte a été affectée. La superposition des individus aux limites administratives des quartiers de la commune de Ziguinchor a permis d'avoir la répartition spatiale des morphotypes dans les quartiers étudiés.

## RÉSULTATS

### Contribution relative et corrélation entre les variables

La figure 2 montre la représentativité des variables quantitatives par rapport aux dimensions et le pourcentage d'informations de chaque dimension. La dimension 1 regroupe 30,3% d'informations avec le poids de l'ensemble du fruit, poids coque, poids de la pulpe-graine, le poids pédoncule et la largeur coque, les variables les plus contributives à la formation de la dimension 1 avec des coefficients de corrélations respectifs de 0,93; 0,84; 0,86; 0,52 et 0,60. Quant à la dimension 2, elle renferme 21,6 % d'informations et les variables qui contribuent plus à la formation cette dimension sont les paramètres de la feuille: la taille du pétiole, longueur du limbe, largeur du limbe et le nombre de nervures latérales avec des coefficients de corrélations respectifs de 0,57; 0,76; 0,70 et 0,64.

La figure 3 présente les résultats de l'ACP montrant d'une part une corrélation entre les variables du fruit (poids et tailles) et d'autre part une corrélation des variables de la feuille. Des corrélations plus représentatives ont été notées entre certaines variables:

- Le poids ensemble fruit, poids pulpe + graine, le poids de la coque et la largeur de la coque;
- La hauteur totale du fruit et la longueur du pédoncule;
- La longueur du limbe, la largeur du limbe et le nombre de nervures latérales.

Aussi, les individus ind219, ind222, ind238, ind388, ind396, ind398, ind400, ind419 et ind486 sont bien représentés par rapport à la dimension 1 et se corrélaient aux variables des fruits (poids et taille). De même, les individus ind221, ind235, ind237, ind247, ind248, ind399, ind438, ind483 et ind487 prédominent par rapport à la dimension 2 et se corrélaient aux variables des feuilles.

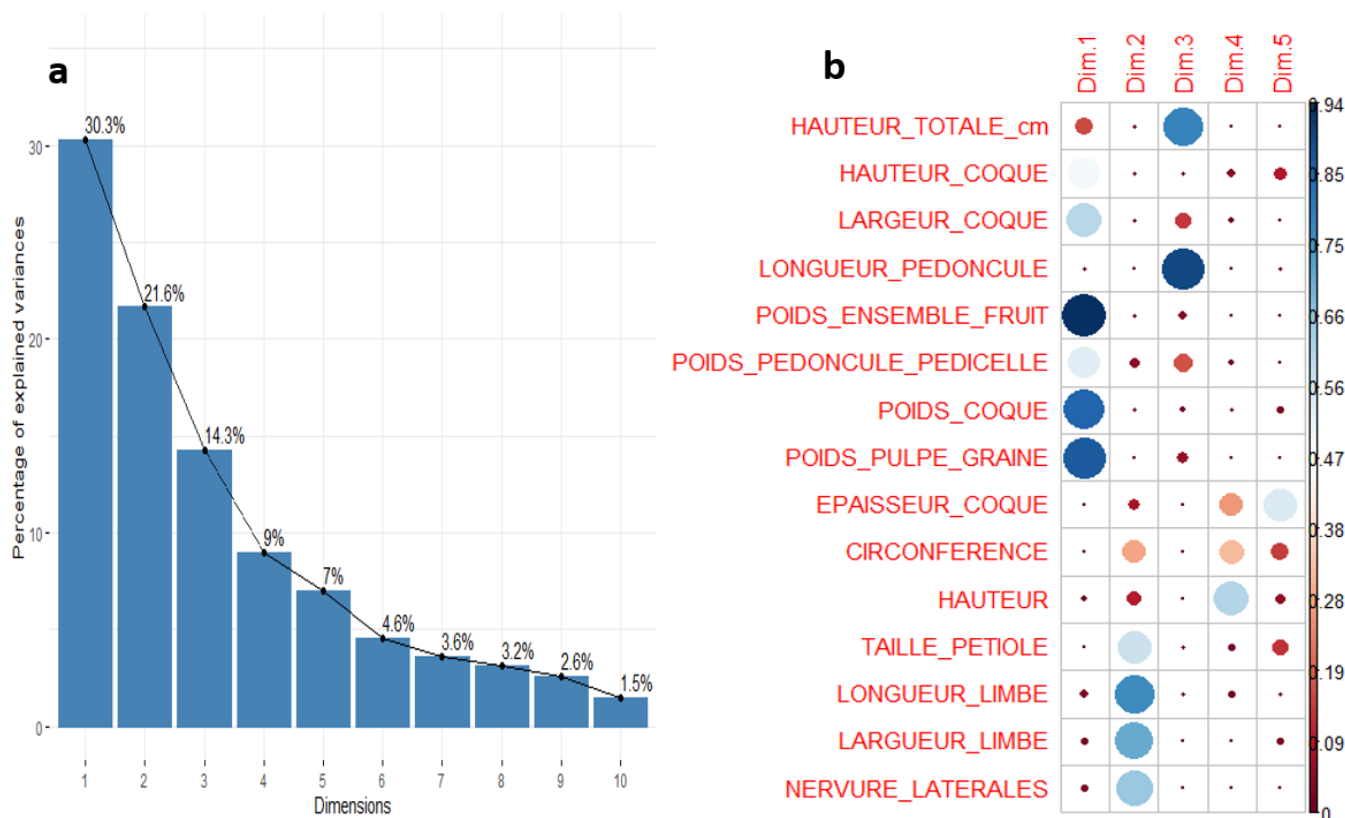


Figure 2: Pourcentage d'information de chaque dimension (a) et les variables qui interviennent à leur formation (b)



**Optimisation du nombre de clusters**

La figure 4 représente la courbe de variance au sein des clusters obtenus. Elle décroît lorsque k augmente, et forme une courbure (ou «coude») à k = 2. Cette courbure indique que les clusters au-delà de ce nombre ont peu de valeur. Dans la section suivante, les individus seront donc classés en 2 groupes.

**Classification hiérarchique**

Après une optimisation du nombre de clusters donnant k = 2, une classification hiérarchique (CHA) a été effectuée et a permis de scinder les 67 individus en deux groupes, correspondant à des morphotypes distincts de la population de baobab de la ville (Figure 5). Le morphotype 1 compte 30 individus et morphotype 2, 37 individus.

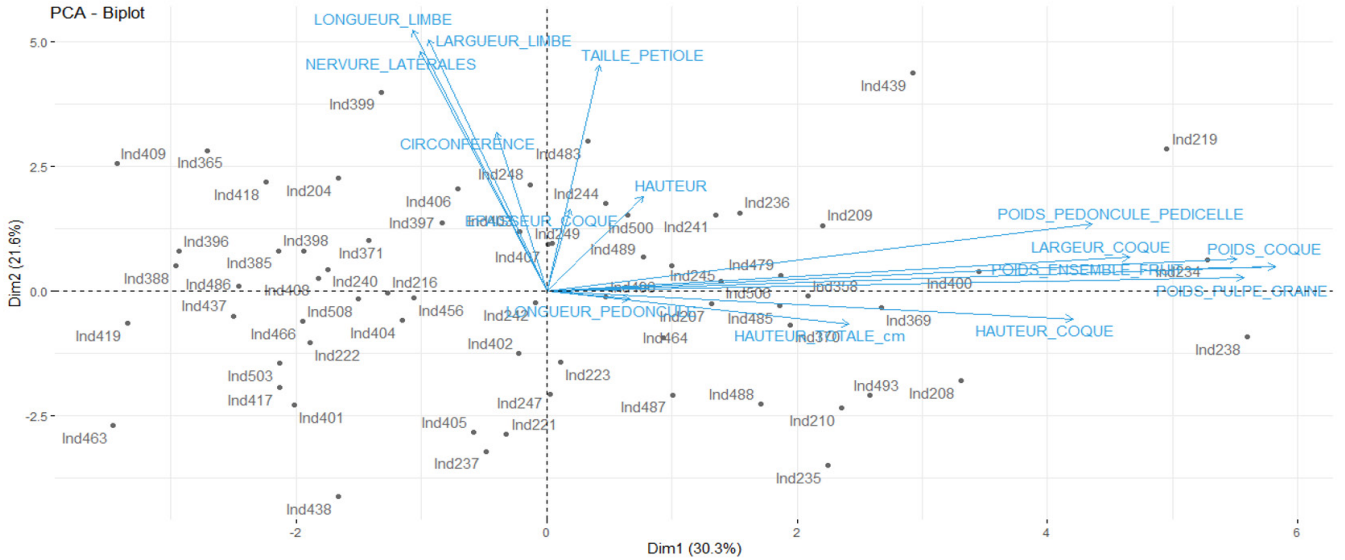


Figure 3: Représentation de l'ACP

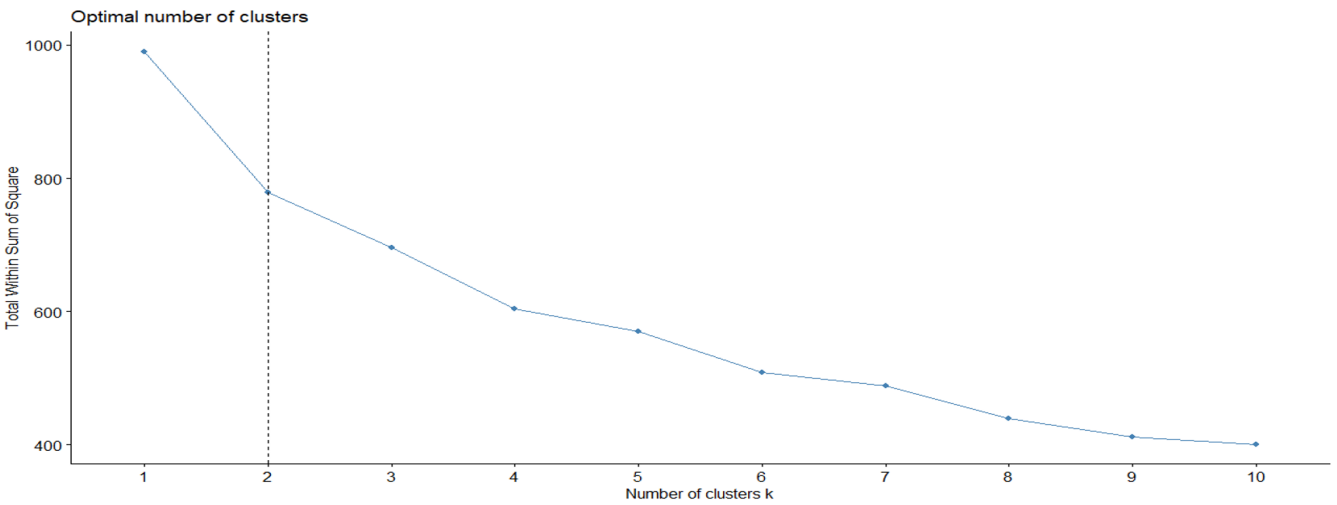


Figure 4: Nombre optimal de classe

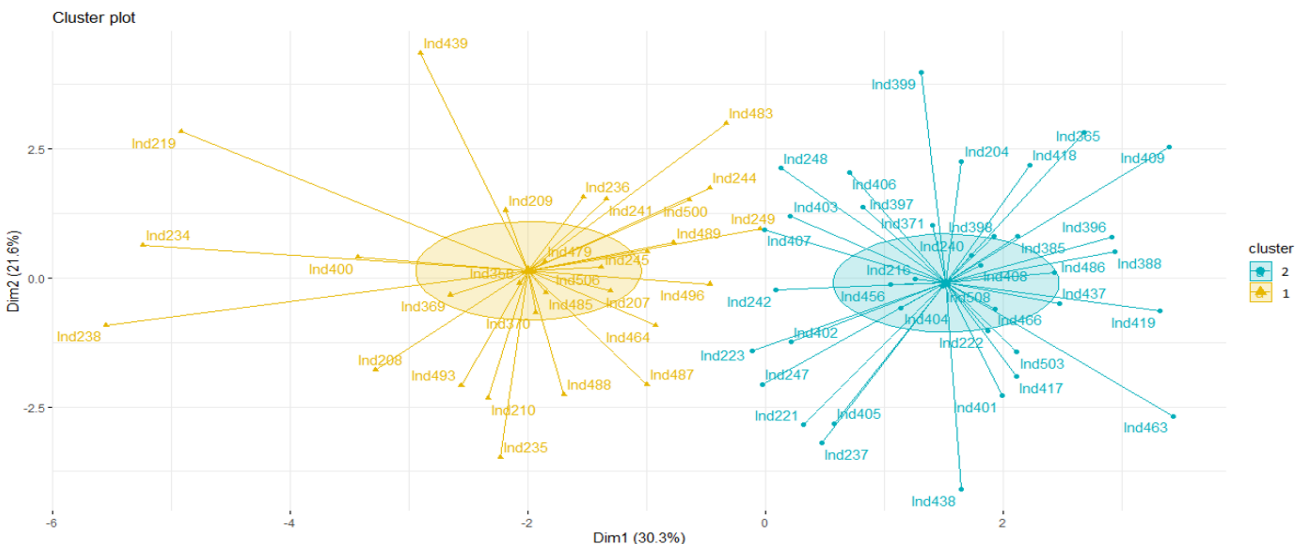


Figure 5: Répartitions des individus selon les groupes d'appartenance

### Répartition spatiale des morphotypes

La figure 6 représente la répartition spatiale des morphotypes de baobab dans la ville.

La grande majorité des individus du groupe 1 est principalement localisé dans les quartiers de Kenia et de Kandialang, alors que ceux du groupe 2 proviennent essentiellement des quartiers de Kandé et Djibock.

### Contribution des paramètres qualitatifs à la variabilité morphologique des individus

L'influence des paramètres qualitatifs (déformation, bords côtelés, forme fruit, forme base du fruit, forme sommet du fruit) sur cette même variabilité est établie à l'aide d'une analyse de variance à plusieurs facteurs (Permanova). Le tableau 1 et la figure 7 présentent les résultats de cette analyse.

Les résultats d'analyse présentés dans tableau 1 révèlent une absence d'effet significatif de toutes les variables catégorielles sur la variabilité morphologique de la population de baobab.

En effet, les variables déformation, forme du fruit, forme du sommet de fruit, forme de base du fruit, bords côtelés ou non et y compris les interactions pouvant exister entre elles peuvent être considérées comme impertinentes sur la variabilité de cette analyse. Les valeurs de probabilités respectives (0,596; 0,505; 0,223; 0,887 et 0,881), sont toutes suffisamment supérieures au niveau de signification conventionnel de 0,05 (5%). Même avec les interactions pouvant exister entre les différentes variables catégorielles, les résultats d'analyse révèle une absence totale d'effet significatif c'est-à-dire une impertinence de ces dernières sur la variabilité morphologique de la population étudiée.

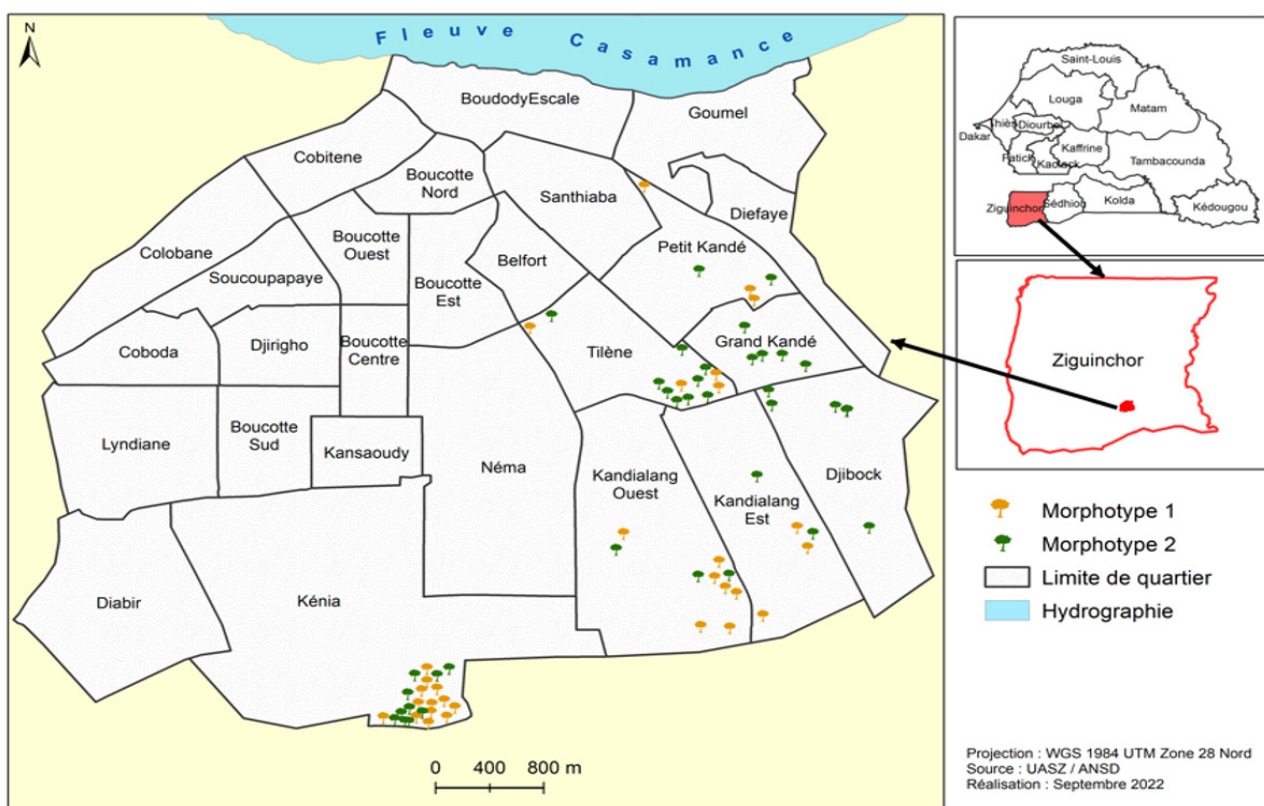


Figure 6: Répartition spatiale des morphotypes

Tableau 1: Tableau de probabilité du permanova

Variabiles qualitatives	Df	SumOfSqs	R2	F	Pr(>F)
DEFORMATION	1	0.00362	0.00910	0.5536	0.596
FORME_DU_FRUIT	3	0.01660	0.04181	0.8475	0.505
FORME_SOMMET_FRUIT	2	0.01777	0.04473	1.3601	0.223
FORME_BASE_FRUIT	2	0.00413	0.01039	0.3159	0.887
BORDS_COTELES_OU_NON	1	0.00133	0.00334	0.2033	0.881
DEFORMATION:FORME_DU_FRUIT	2	0.00761	0.01915	0.5822	0.694
FORME_DU_FRUIT:FORME_SOMMET_FRUIT	3	0.02459	0.06193	1.2552	0.277
FORME_DU_FRUIT:FORME_BASE_FRUIT	2	0.00690	0.01737	0.5282	0.702
FORME_SOMMET_FRUIT:FORME_BASE_FRUIT	2	0.00987	0.02485	0.7554	0.540
FORME_SOMMET_FRUIT:BORDS_COTELES_OU_NON	1	0.00222	0.00559	0.3399	0.753
FORME_DU_FRUIT:FORME_SOMMET_FRUIT:FORME_BASE_FRUIT	1	0.00209	0.00527	0.3203	0.794

Df: degré de liberté, SumOfSqs: Erreur quadratique moyenne, R2: Coefficient de corrélation, F: Fréquence, Pr: Probabilité

Cela traduit qu'on pouvait à priori s'en limiter à la seule collecte des 15 variables quantitatives pour optimiser sur le coût d'échantillonnage.

La figure 7 nous illustre les tracés de la dispersion relative- ment aux différentes variables catégorielles (déformation, la forme du fruit, la forme sommet du fruit, la forme base du fruit et le bord côtelé ou non) qui sont en adéquation avec les résultats présentés au tableau 1.

En effet, il y est facile de remarquer une ressemblance par- tout traduisant un milieu homoscédastique des différentes covariables. Cela obéit à la loi «*ceux qui se ressemblent, s'assemblent*» d'où la ressemblance se traduit par les proximités des diverses covariables.

### Caractéristiques des morphotypes

La classification hiérarchique a indiqué deux groupes, puis une comparaison des moyennes de ces derniers a été faite par rapport à la dimension du fruit, à leurs poids, aux paramètres dendrométriques, à la forme du fruit et aux dimensions de la feuille.

#### Dimension du fruit

Les paramètres relatifs à la dimension du fruit montrent que le morphotype 1 a une moyenne plus élevée que le 2 (Figure 8).

#### Poids du fruit

Les fruits du morphotype 1 sont en moyenne largement plus lourds que ceux du 2 (Figure 9). Ceci en se basant sur

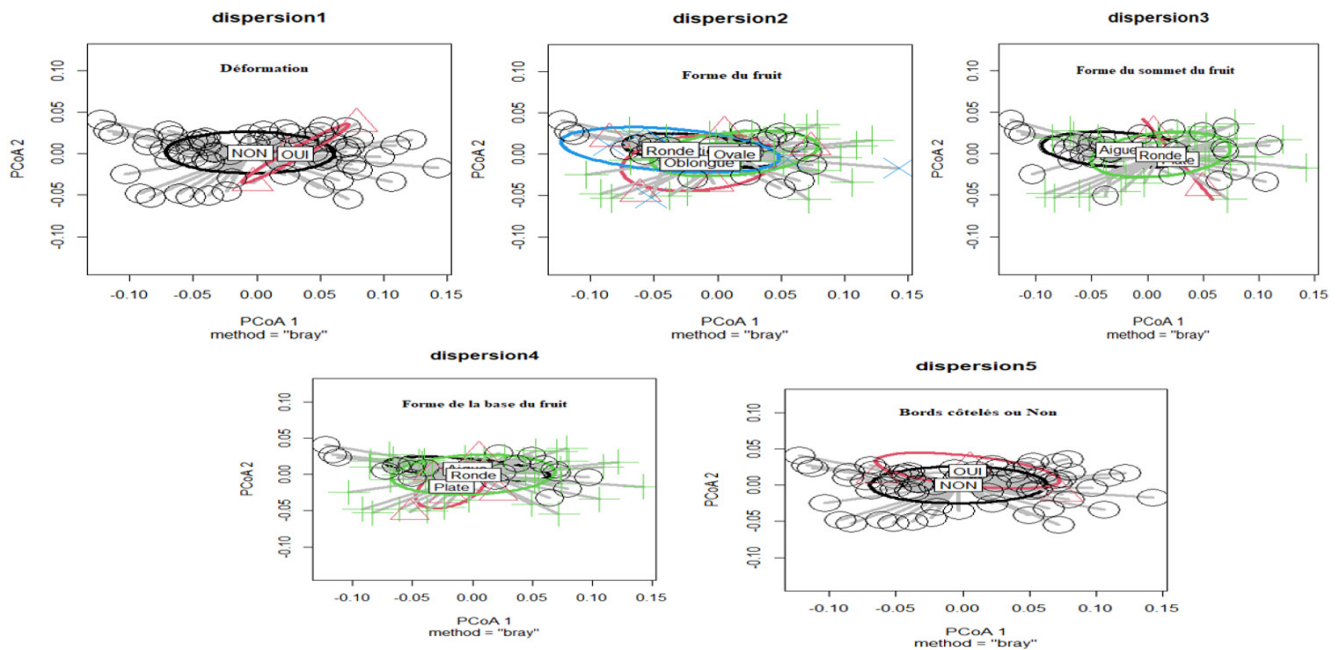


Figure 7: Dispersion des individus par rapport aux variables qualitatives

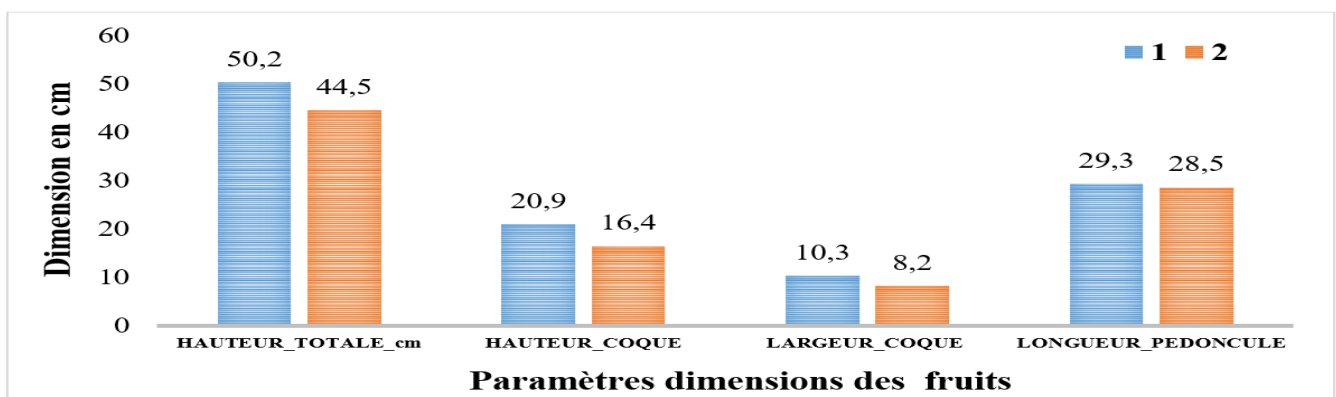


Figure 8: Dimensions des fruits

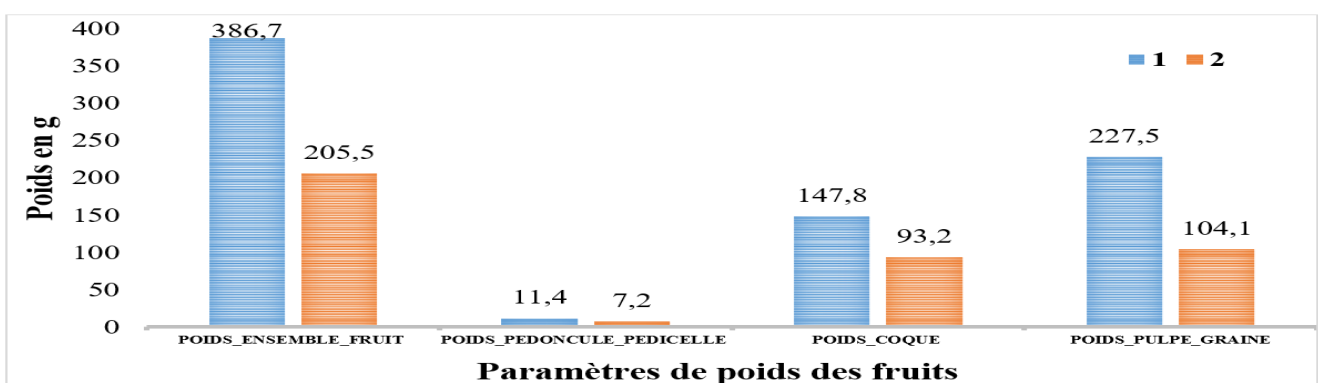


Figure 9: Paramètres poids de fruit des morphotypes (1 et 2)

le poids total du fruit, le poids de la coque et celui de la pulpe plus la graine. On constate que le groupe 1 intègre des individus qui ont des poids de fruit les plus importants (ind238, ind234, ind219 et ind208) avec respectivement un poids de fruit de 587 g, 517 g, 558 g et 509 g.

#### Paramètres dendrométriques

Les individus du morphotypes 1 se révèlent plus hauts que ceux du groupe 2, alors que ceux du groupe 2 apparaissent légèrement plus larges (Figure 10).

#### Feuilles

Le morphotype 2 présente des valeurs légèrement plus élevées en termes de longueur du pétiole, du limbe et du

nombre de nervures latérales. Quant à la largeur du limbe, elle se montre légèrement plus grande chez les individus du groupe 1 (Figure 11).

#### Forme du fruit

Les résultats sur la forme du fruit montrent que les formes ovales et elliptiques dominent chez tous les individus par rapport aux formes ronde et oblongue (Figure 12). On note cependant, une légère dominance de la forme ovale dans le morphotype 2 (19 individus). Par ailleurs, il existe plus de fruits à forme ronde dans le morphotype 1 (5 individus) et plus de forme oblongue dans le morphotype 2 (3 individus), (Figure 13).

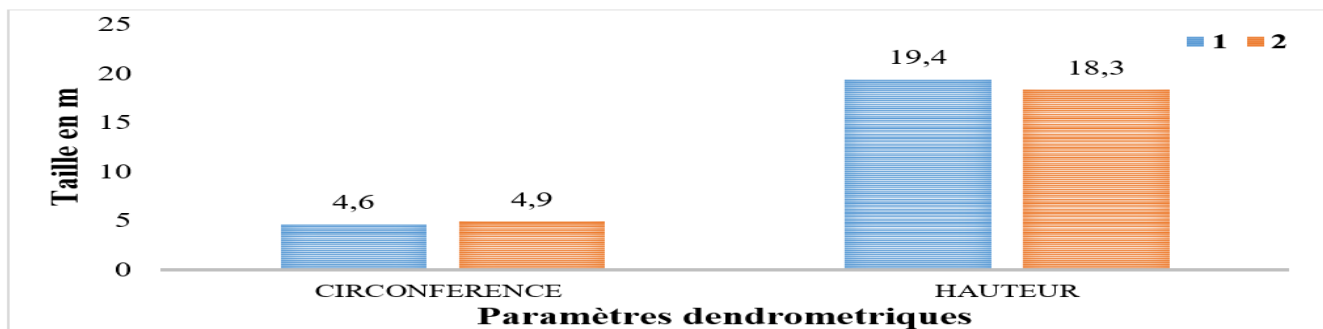


Figure 10: Paramètres dendrométriques des morphotypes (1 et 2)

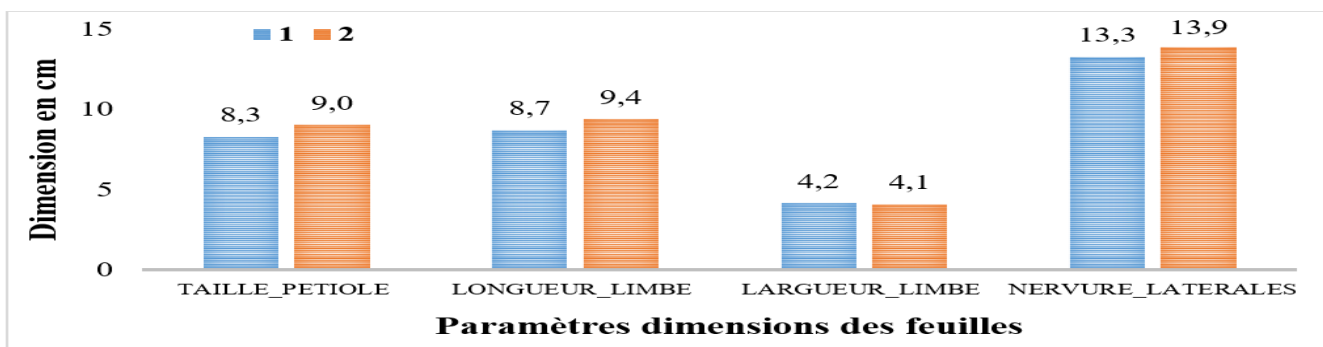


Figure 11: Paramètres foliaires des morphotypes (1 et 2)



Figure 12: Les différentes formes des fruits

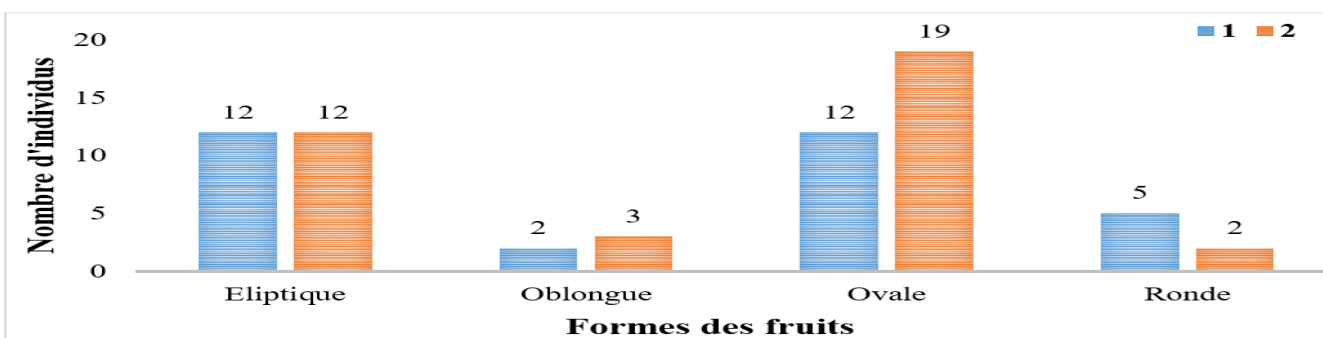


Figure 13: Forme fruit dans les deux groupes (1 et 2)

## DISCUSSION

Le clustering réalisé et optimisé a permis de définir deux morphotypes de baobabs avec respectivement 30 et 37 individus. L'analyse des paramètres qualitatifs et quantitatifs a permis de dresser le portrait de chacun et de faire les comparaisons nécessaires pour une meilleure identification.

En effet, le poids moyen de l'ensemble fruit du morphotype 1 (387 g) est largement supérieur au poids moyen du morphotype 2 (205 g) avec une différence de 181 g. Dans le même sens le morphotype 1 compte des fruits de tailles plus importantes (20,9 cm/10,3 cm en moyenne) que le morphotypes (16,4 cm / 8,2 cm) avec une différence de 4,5 cm / 2,1 cm.

La hauteur moyenne des individus du morphotype 1 (19,4 m) est plus importante comparée au second (18,3 m) avec une différence de 1,02 m, mais avec des diamètres moyens presque égaux, respectivement 1,5 m et 1,6 m. On note cependant, pour l'ensemble des paramètres dendrométriques, une répartition homogène des individus les plus importants dans les deux groupes.

Les feuilles du morphotype 2 sont généralement plus grandes que celles du premier. La comparaison se base sur la taille du pétiole, la longueur du limbe et le nombre de nervures latérales, respectivement de 9,0 cm; 9,4 cm et 14 pour le morphotype 1 et de 8,3 cm; 8,7 cm et 13 pour le deuxième.

Concernant les variables qualitatives, les résultats de l'ACP et la Permanova montrent qu'il n'y a pas d'effet significatif avec des probabilités de 0,596; 0,505; 0,223; 0,887 et 0,881 respectivement pour la déformation, la forme du fruit, la forme sommet fruit, la forme base fruit et le bord côtelé. Les variables qualitatives n'influencent pas la dispersion des individus.

Des études menées au Bénin sur la caractérisation de la variabilité morphologique et de production (Assogbajo *et al.*, 2005) et celles sur la diversité morpho-biochimique des morphotypes paysans de baobab au Sénégal (Sanogo *et al.*, 2013) ont confirmé cette variabilité qui était principalement liée aux conditions d'environnement et d'habitat. Selon ces auteurs, cette variabilité pourrait probablement résulter d'une diversité génétique au sein des populations de baobab.

La variation génétique entre les populations résulte en effet de diverses combinaisons de sélection, mutation, migration, dérive génétique et comportement d'accouplement (Vanderbank *et al.*, 1996). En général, les événements d'accouplement s'avèrent comme le principal déterminant de la structuration génétique spatiale des espèces d'arbres (Young et Merriam, 1994). Les chauves-souris frugivores figurent parmi les principaux agents de dispersion du pollen et des graines de baobab (Harris et Baker, 1959; Baum, 1995), bien que le comportement diffuseur de l'espèce n'ait pas été largement étudié, le baobab est considéré comme généralement consanguin (Assogbadjo *et al.*, 2006; Ouedraogo, 2000). Cependant, le flux génétique entre les populations s'appréhende mieux également par le statut du baobab en tant qu'espèce semi-domestiquée. En effet, depuis le début de la semi-domestication de cet arbre, les populations rurales, les agriculteurs et les commerçants ont joué un rôle important dans le flux de gènes entre des populations géographiquement éloignées en facilitant le transport des fruits de village à village (Assogbadjo *et al.*, 2006). Cette observation se pose en corrélation avec le fait que les espèces d'arbres à longue durée de vie, telles que le baobab, présentent des niveaux élevés de diversité génétique au sein de la population et faible différenciation

(Hamrick *et al.*, 1992; Austerlitz *et al.*, 2000), probablement en raison de leurs niveaux élevés de flux de pollen et de populations multi-générationnelles (Vanderbank *et al.*, 1996; Austerlitz *et al.*, 2000).

Cette influence de l'homme sur le flux génétique du baobab s'explique mieux dans les milieux urbains et périurbains. Dans la ville de Ziguinchor, la répartition spatiale des morphotypes définis indiquerait une sélection ou un maintien des individus en fonction des usages.

Dans les quartiers Kenia et Kandialang, qui font partie des nouvelles zones urbanisées de la ville, jadis réservés aux activités agricoles (ASIDSU, 2006), les baobabs rencontrés portent des fruits intéressants par la taille et le poids. Ils seraient exploités dans la préparation des mets et jus à base pain de singe. L'homme les aurait introduits ou maintenus pour ce service.

On retrouve dans cette même zone nouvellement urbanisée, mais un peu plus au nord, notamment à Kandé et Djibock, des individus essentiellement du morphotype 2 avec des grandes feuilles. L'exploitation ici serait liée à la préparation des plats et sauces à base de feuilles de baobab.

Ces affirmations sont conformes à ceux de plusieurs auteurs (Young et Merriam, 1994; Aldrich *et al.*, 1998; Allaye Kelly *et al.*, 2004). Ces derniers affirment que les populations de baobabs dans les systèmes agroforestiers ouest-africains subissent l'influence constante des activités humaines, ce qui peut affecter la structure génétique des espèces d'arbres par leur effet sur la dispersion, la densité, la fragmentation et la sélection des graines et du pollen. Les populations locales appliquent un système de classification morphologique pour les baobabs et arrivent ainsi à guider dans la sélection et la collecte de matériel génétique à partir d'arbres, avec des combinaisons de caractères préférées (Assogbadjo *et al.*, 2008). Par ailleurs, l'échange actif de semences sur les marchés locaux entre les populations améliorerait la diversité génétique, en maintenant la variation génétique au sein des populations et en réduisant la différenciation génétique entre les populations et les niveaux de consanguinité (Loiselle *et al.*, 1995; Chung *et al.*, 2000).

## CONCLUSION

La caractérisation morphologique des *baobabs* dans la ville de Ziguinchor a permis de fournir des informations utiles pour une meilleure connaissance et une future bonne gestion durable des populations de baobab de cette ville à urbanisation galopante. On constate que la plupart des baobabs ont un poids et des dimensions du fruit qui dépasseraient ceux des baobabs des autres zones soudano-guinéennes, avec des formes de fruits ovales et elliptiques dominantes. Bien que les paramètres dendrométriques et foliaires de cette zone présentent des variations au sein des individus, ils se rapprochent de ceux trouvés dans d'autres localités de même zone climatique.

Ainsi, on note une variation des paramètres poussant à les diviser en deux morphotypes:

- Le morphotype 1 se caractérise par des individus possédant des gros et lourds fruits, des formes majoritairement elliptiques et ovales, disposant de petites feuilles.
- Le morphotype 2 rassemble des individus portant des grandes des fruits, des fruits de petites tailles, moins lourds et majoritairement de forme ovale.

Dans la ville, les individus du groupe 1 sont principalement localisés dans les quartiers de Kenia et de Kandialang, alors

que ceux du groupe 2 proviennent en majorité des quartiers de Kandé et Djibock.

Par ailleurs, les méthodes de ségrégation utilisées ont montré que les variables qualitatives telles que la déformation fruit, le bord côtelés ou non, la forme fruit, du sommet et de sa base n'ont pas d'effet significatif sur la variabilité de la population de baobab.

Des études génétiques et moléculaires permettraient d'analyser en profondeur cette variabilité et définir les éventuelles variétés ou sous-espèces.

## RÉFÉRENCES

- ANSD (2012). Situation économique et sociale régionale. Service Régional de la Statistique et de la Démographie de Ziguinchor. pp 15-16.
- Aldrich P.R., Hamrick J.L., Chavarriaga P., Kochert G. (1998). Microsatellite analysis of demographic genetic structure in fragmented populations of the tropical tree *Symphonia globulifera*. *Mol. Ecol.*, 7:933-944.
- Allaye Kelly B., Hardy O.J., Bouvet J.M. (2004). Temporal and spatial genetic structure in *Vitellaria paradoxa* (shea tree) in an agroforestry system in southern Mali. *Molecular Ecology*, 13: 1231-1240.
- ASIDSU (2006). Association de Solidarité Internationale pour un Développement Social-Urbain. Diagnostic concerté sur l'accès à l'eau potable et à l'assainissement. Ziguinchor. pp 14.
- Assogbadjo A.E., Sinsin B., Van Damme P. (2005). Caractères morphologiques et production des capsules de baobab (*Adansonia digitata* L.) au Bénin. *Fruits*, 60: 327-340.
- Assogbadjo A.E., Kyndt T., Sinsin B., Gheysen G., Van Damme P. (2006). Modèles de diversité génétique et morphométrique de baobab (*Adansonia digitata* L.): les populations dans différentes zones climatiques du Bénin (Afrique de l'Ouest). *Bot. Ann.*, 97: 819-830.
- Assogbadjo A.E., Glele Kakaï R., Chadare F.J., Thomson L., Kyndt T., Sinsin B., Van Damme P. (2008). Folk classification, perception and preferences of baobab products in West Africa: consequences for species conservation and improvement. *Economic Botany*, 62: 74-84.
- Assogbadjo A. E. (2010). Ethnobotanique et diversité du baobab africain (*Adansonia digitata* L.). Réseau de chercheurs Biotechnologies Végétales Amélioration Des Plantes Et Sécurité Alimentaire (BIOVEG). *Lettre d'information*, 4: 4-6.
- Assogbadjo A. E., Loo J. (2011). *Adansonia digitata*, baobab. Conservation et utilisation durable des ressources génétiques des espèces ligneuses alimentaires prioritaires de l'Afrique subsaharienne. Bioversity International (Rome, Italie), 12p.
- Austerlitz F., Mariette S., Machon N., Gouyon P. H., Godelle B. (2000). Effects of colonization processes on genetic diversity: Differences between annual plants and tree species. *Genetics*, 154: 1309-1321.
- Badiane S.D., Mbaye E. (2019). Le baobab, un arbre emblématique dans le futur urbain du pôle de Diamniadio au Sénégal: marqueur spatial, représentation sociale et intégration paysagère. *Organisations & Territoire*, 28:2.
- Bationo B.A., Lamien N., Dermes N., Kandji S. (2009). Culture du baobab, *Adansonia digitata* L. (bombacaceae) en planche maraîchère: une méthode pour simplifier sa récolte et favoriser sa propagation au sahel. *Bois et Forêts des Tropiques*, 299:79-86.
- Baum D.A. (1995). The comparative pollination and floral biology of baobabs (*Adansonia digitata*). *Annals of Missouri Botanical Gardens*, 82: 322-348.
- Bloom S.A. (1981). Similarity indices in community studies: Potential Pitfalls. *Marine Ecology - Progress Series*, 5: 125-128.
- Bœuf F., Robert F., (2017). L'arbre au cœur du paysage urbain: symbole ou action militante ? Projets de paysage. *Revue scientifique sur la conception et l'aménagement de l'espace*, 16.
- Bray J.R., J.T. Curtis (1957). An ordination of upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27: 325-349.
- Charahbil M.M., Cesar Hamadou B., Ndiaye S., Diatta M. (2018). Diversité et structure des espaces végétalisés urbains de la ville de Ziguinchor, Sénégal. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 12: 1650-1666.
- Chung M.G., Chung M.Y., Oh G.S., Epperson B.K. (2000). Spatial genetic structure in a *Neolitsea sericea* population (Lauraceae). *Heredity*, 85: 490-497.
- Cleuziou G. (2004). Une méthode de classification non-supervisée pour l'apprentissage de règles et la recherche d'information. Université d'Orléans. France.
- Hamrick J.L., Godt M.J.O.W., Sherman-Broyles S. L. (1992). Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. *New Forests*, 6: 95-124.
- Harris B.J., Baker H.G. (1959). Pollination of flowers by bats in Ghana. *Nigerian Field*, 24: 151-159.
- IBPGR (1986). Cashew (*Anacardium occidentale* L.) descriptors for plant genetics. Genetic Resource Centre, Plant Production and Protection Division, FAO, p. 33.
- Kaufman L., Rousseeuw P.J. (1990). Partitioning around Medoids (Program PAM). In: Kaufman, L. and Rousseeuw, P.J., Eds., Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 68-125.
- Kouyate A.M., Decaluwe E., Guindon F., Diawara H., Diarra I., Ndiaye I., Van Damme P. (2011). Variabilité morphologique du baobab (*Adansonia digitata* L. au Mali). *Fruits*, 66: 247-255.
- Loiselle B.A., Sork V.L., Nason J., Graham C. (1995). Spatial genetic structure of a tropical understory shrub, *Psychotria officinalis* (Rubiaceae). *American Journal of Botany*, 82: 1420-1425.
- MEPN (1997). Élaboration de la monographie nationale sur la diversité biologique au Sénégal, 82p.
- Ndiaye S.A.S., Gaye A., Fall S. T., Diouf M., Diallo L. (2003). Le Baobab, nouvelle plante maraîchère au Sahel. Fiche technique.
- Ouedraogo L.G., Eyog Matig O., Gaoue O.G., Dossou B. (2000). Réseau Espèces Ligneuses Alimentaires: Compte rendu de la première réunion du Réseau tenue 11 - 13 décembre 2000 au CNSF Ouagadougou, Burkina Faso. Institut International des Ressources Phytogénétiques, Rome, Italy.
- Pettigrew F.R.S.J.D., Bell K.L., Bhagwandin A., Grinan E., Jillani N., Meyer J., Wabuye E., Vickers C.E. (2012). Morphology, ploidy and molecular phylogenetics reveal a new diploid species from Africa in the baobab genus *Adansonia* (Malvaceae: Bombacoideae). *Taxon*, 61:1240-1250.
- Polorigni B., Radji R., Kokou K. (2014). Perceptions, tendances et préférences en foresterie urbaine: cas de la ville de Lomé au Togo. *European Scientific Journal*, 10: 261-277.
- Sanogo D., Diedhiou B., Diop A., Sanou H., Thiom M. Gassama Y. K., Bassene E. (2013). Morphologic and Biochemical Diversity of Peasant's Baobab Tree (*Adansonia digitata* L.) Morphotypes in Senegal, African Natural Plant Products Volume II: Discoveries and Challenges in Chemistry, Health, and Nutrition; H. Rodolfo Juliani., James E. Simon., and Chi Tang Ho. ACS Symposium Series; American Chemical Society: Washington, DC, 16: 256-271.
- Sidibe M., Williams J. T. (2002). Baobab. *Adansonia digitata*. International Centre for Underutilised Crops, Southampton, UK.
- Tavin A., Leseur A. (2016). Végétaliser la ville: pour quels bénéfices, avec quels financements, suivis et gouvernances des projets ? L'apport d'exemples européens et nord-américains. Institute For Climate Economic. 32 p.
- Vanderbank H., Van Wykt B.-E., Vanderbank M. (1996). Genetic variation within and geographical relationships between four natural populations of *Virgilia oroboides* (tribe Podalyriaceae: Fabaceae). *Biochemical Systematics and Ecology*, 24: 135-143.
- Young A.C., Merriam H.G. (1994). Effect of forest fragmentation on the spatial genetic structure of *Acer saccharum* Marsh. (sugarmaple) populations. *Heredity*, 72: 201-208.

# Propriétés biologiques et pharmacologiques de *Kigelia africana* (Lam.) Benth en médecine traditionnelle humaine et vétérinaire

C. IWAKA<sup>1</sup>, E.V.B. AZANDO<sup>1</sup>, E. TCHETAN<sup>2</sup>, A.S. ASSANTI<sup>1</sup>, A.P. OLOUNLADÉ<sup>2</sup>, M.S. HOUNZANGBÉ-ADOTÉ<sup>3</sup>

(Reçu le 05/10/2022; Accepté le 11/11/2022)

## Résumé

*Kigelia africana*, ou arbre à saucisses, est une plante très utilisée dans la gestion des affections humaines et animales depuis très longtemps dans le monde. L'objectif de cette étude est de faire une synthèse des connaissances sur ses propriétés biologiques et pharmacologiques. Pour y arriver des mots clés spécifiques ont été utilisés pour explorer les bases de données scientifiques comme PubMed, Google Scholar, Researchgate, Scopus et Springer. Les données obtenues montrent que les différentes parties (écorces, feuilles, fleurs, tige fruits, racines) sont utilisées pour le traitement des affections cutanées, fongiques, cancéreuses, gynécologiques, paludiques, diabétiques, pneumoniques, le psoriasis, l'eczéma, les furoncles, la lèpre, la syphilis, la constipation, l'infestation par le ténia, la jaunisse, les ulcères et les plaies. Les activités pharmacologiques des différents extraits ainsi que des composés isolés de la plante sont rapportées comme analgésiques, antipyrétiques, anti-inflammatoires, hépatoprotectrices, antidiabétiques, antibactériennes, antifongiques, nématocides, antiamibiennes, antivirales, antitrypanosomiennes, anticonvulsives, nutritives, antipaludéennes, antidiarrhéiques, anticancéreuses, antioxydantes, aphrodisiaques, cosmétiques et cicatrisantes. Les analyses phytochimiques ont révélé la présence d'une large gamme de métabolites secondaires (flavonoïde, quinones, composés phénoliques, coumarines, alcanes, acides gras insaturés). Les différentes potentialités de cette plante ouvrent la perspective d'évaluer son efficacité dans le contrôle des maladies parasitaires sanguines du bétail, spécialement les trypanosomoses.

**Mots clés:** Propriétés biologiques, *Kigelia africana*, Médecine traditionnelle, Activités pharmacologiques, Analyses phytochimiques

## Biological and pharmacological properties of *Kigelia africana* (Lam.) Benth in traditional human and veterinary medicine

### Abstract

*Kigelia africana*, or sausage tree, is a plant widely used in the management of human and animal diseases for a very long time. The objective of this study is to synthesize the knowledge on its biological and pharmacological properties. To achieve this, specific keywords were used to explore scientific databases such as PubMed, Google Scholar, Researchgate, Scopus and Springer. The data obtained show that the different parts (barks, leaves, flowers, stems, fruits, roots) are used for the treatment of skin, fungal, cancerous, gynecological, malarial, diabetic, pneumonic, psoriasis, eczema, boils, leprosy, syphilis, constipation, tapeworm infestation, jaundice, ulcers and wounds. The pharmacological activities of the different extracts as well as the compounds isolated from the plant are reported as analgesic, antipyretic, anti-inflammatory, hepatoprotective, antidiabetic, antibacterial, antifungal, nematocidal, antiamoebic, antiviral, antitrypanosomal, anticonvulsant, nutritive, antimalarial, antidiarrheal, anticancer, antioxidant, aphrodisiac, cosmetic and healing. Phytochemical analyses have revealed the presence of a wide range of secondary metabolites (flavonoid, quinones, phenolic compounds, coumarins, alkanes, unsaturated fatty acids). The different potentialities of this plant open the prospect of evaluating its effectiveness in the control of parasitic blood diseases of livestock, especially trypanosomiasis.

**Keywords:** Biological properties, *Kigelia africana*, Traditional medicine, Pharmacological activities, Phytochemical analysis

## INTRODUCTION

Les plantes médicinales sont utilisées depuis des décennies dans les systèmes de soins traditionnels pour la composition des recettes médicinales (Telefo *et al.*, 2011; Lawin *et al.*, 2016). Ces plantes constituent une source de santé bien plus importante pour certaines populations dans le monde (Guidigan *et al.*, 2018; Jackson, 2021; Assanti *et al.*, 2022). Ce système de médecine traditionnelle à base de plantes continue de jouer un rôle essentiel au sein des populations rurales pour leurs soins de santé primaires (Mukavi *et al.*, 2020). C'est ainsi que plusieurs plantes interviennent dans la composition des remèdes pour soulager ou guérir certaines pathologies (Arena *et al.*, 2020; Dossou-Yovo *et al.*, 2020). Parmi ces plantes, il y a *Kigelia africana* (Lam.) Benth, encore appelée *Kigelia pinnata* (Jacq.) DC. de la famille des Bignoniaceae est largement répandue en Afrique du Centre et de l'Ouest. L'arbre peut atteindre jusqu'à 20 m de haut et est connu sous le nom d'arbre à concombres ou arbre à saucisses en raison de ses fruits énormes (d'une longueur moyenne de 0,6 m et d'un poids de 4 kg environ), qui pendent à de longues tiges fibreuses.

Plusieurs parties de la plante sont employées à des fins médicinales par certains peuples autochtones (Nabatanzi *et al.*, 2020b). Ainsi, les fruits, les feuilles et les fleurs tombés sont broutés comme fourrage par le bétail et le gibier. Le bois de *Kigelia africana* est considéré comme excellent pour les pirogues, les planches et les poteaux de clôture. Il est également utilisé pour fabriquer des boîtes, des tambours, des tabourets, des jougs, des manches d'outils, des mortiers et de grands bols (râteliers) pour abreuver le bétail. Le bois est utilisé comme combustible. *Kigelia africana* est considéré comme sacré dans de nombreuses régions (Akapelwa *et al.*, 2021). Les fruits sont couramment vendus sur les marchés comme charmes pour favoriser la richesse, la prospérité, pour conférer force et courage aux guerriers avant pour augmenter le rendement des cultures et comme fétiche pour la fécondité (Dossou-Yovo *et al.*, 2022). Les fruits sont la partie de la plante la plus fréquemment utilisée dans les préparations en médecine traditionnelle, suivis par l'écorce de la tige, les racines et les feuilles (Dos Santos *et al.*, 2014; Halder et Sharma, 2017). Les fleurs sont assez peu connues et rarement utilisées en médecine car elles sont saisonnières.

<sup>1</sup> Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, Bénin

<sup>2</sup> Université Nationale d'Agriculture, Porto-Novo, Bénin

<sup>3</sup> Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Certaines études concises ont rapporté l'utilisation de la plante pour des analyses phytochimiques (Fredrick *et al.*, 2014; Nabatanzi *et al.*, 2020b; Obianagha *et al.*, 2021); pharmacologiques (Alipieva *et al.*, 2014; Bello *et al.*, 2016; Singh *et al.*, 2018) et pour des essais en laboratoire (Eldeen et Van Staden, 2007; Isah *et al.*, 2020; Mukavi *et al.*, 2020). Des recherches et enquêtes (ethno-botaniques et ethno-vétérinaires) ont montré que la plante est utilisée pour le traitement des affections chez les animaux (Bharti *et al.*, 2006; Zofou *et al.*, 2011; Iwaka *et al.*, 2022) et chez l'homme (Akapelwa *et al.*, 2021; Atolani *et al.*, 2021; Tembo *et al.*, 2021). L'objectif de cette étude est de faire un état des lieux des études réalisées sur *K. africana* en faisant ressortir les aspects liés à son utilisation biologique, pharmacologique et phyto-chimique en médecine traditionnelle humaine et vétérinaire. Cette synthèse ouvre la perspective d'évaluer les propriétés trypanocides de *K. africana* dans la lutte contre les trypanosomes du bétail.

## MÉTHODOLOGIE

Le choix des articles pour cette synthèse a été fait dans les bases de données scientifiques telles que PubMed, Google Scholar, Researchgate, Scopus, web of science et Springer. Des rapports institutionnels, des thèses d'étudiants, des articles de journaux éducatifs, des magazines éducatifs et des documents de conférence ont également été consultés. Les publications qui avaient un lien avec *Kigelia africana*, *Kigelia pinnata*, «composés phytochimiques», «usages traditionnels», «produits de *K. africana*», «activité biologique», «activité pharmacologique» ont été téléchargés. Ces publications ont été sélectionnées sur le net en utilisant une combinaison de mots clé: médecine traditionnelle, connaissances indigènes, plantes médicinales, activité antifongique, activité antibactérienne, activité antipaludique, activité analgésique, activité anti-inflammatoire, activité trypanocide ou anti-trypanosomienne, antioxydante, activité anticancéreuse, toxicité, produits commerciaux, botanique et ethno-botanique, entre autres. Ces mots-clés ont été utilisés en français puis traduits en anglais afin d'obtenir un maximum de documents. Cette recherche a été effectuée sur internet du 20 Août au 31 Décembre 2021.

Toutes les publications résultant de ces recherches ont été passées au crible et les enregistrements pertinents ont été rassemblés à l'aide du gestionnaire de bases de données bibliographiques Zotero. Les études *in vitro* et *in vivo* ont été incluses. Tous les documents qui répondaient aux critères d'inclusion de cette synthèse ont été récupérés et évalués. Les critères d'inclusion pour cette revue comprenaient (i) les documents en langue anglaise et française, (ii) les littératures primaires et secondaires publiées, (iii) les thèses d'étudiants publiées, (iv) les articles de journaux et (v) les rapports techniques.

## RÉPARTITION ET UTILISATION

### Répartition géographique et habitat

*Kigelia africana* pousse souvent à l'état sauvage dans les régions humides le long des cours d'eau, le long des bordures des fleuves, dans les régions fluviales et couvertes d'alluvions, dans les savanes où les précipitations sont élevées, dans les régions arbustives et dans les forêts (Halder et Sharma, 2017). L'arbre se retrouve partout en Afrique

tropicale, particulièrement dans les zones sèches. L'arbre se trouve également en Afrique du Sud (dans la Province du Nord, Kwazulu-Natal) et au Swaziland, mais absent en Mauritanie, São Tomé-et-Principe, ni dans les îles de l'Océan Indien. Il a été introduit à des fins ornementales au Madagascar et au Cap-Vert ainsi qu'en Inde, en Irak, en Chine au Pakistan, en Asie du Sud-Est, en Amérique centrale et du Sud en Australie à Hawaï. On le trouve aussi sur des sols rouges limono-argileux parfois rocailloux ou humides depuis le niveau de la mer jusqu'à 3000 m d'altitude (Bello *et al.*, 2016).

### Données botaniques

Règne: Plantae

Clade: Angiospermes

Clade: Dicotylédones vrais

Clade: Lamiales

Famille: Bignoniaceae

Genre: *Kigelia*

Espèce: *africana*

Synonyme: *Kigelia pinnata* (Jacq) DC, *Kigelia aethiopica* Decne

Noms en langue locale:

Banbara: Sinjamba, limbi, lombe

Peuhl: Sindjaawi, Djilidjalahi

Français: Saucissonnier, faux baobab

Anglais: Sausage tree, cucumber tree

### Utilisations en médecine traditionnelle

*Kigelia africana* a une longue histoire d'utilisation par les communautés rurales, en particulier pour ces propriétés médicinales. Ces propriétés se retrouvent dans toutes les parties de l'arbre, telles que les racines, les fruits, les écorces et les feuilles qui sont utilisées à des fins médicales (Saini *et al.*, 2009; Dossou-Yovo *et al.*, 2022; Mohammed *et al.*, 2022). La plante fait objet de nombreux usages en médecine traditionnelle et certaines vertus thérapeutiques ont été confirmées comme antipaludique (Siddiqui *et al.*, 2015), anticancéreux (Plengsuriyakarn *et al.*, 2012; Fagbohun *et al.*, 2021; Gomes *et al.*, 2022), antiulcéreux (Dos Santos *et al.*, 2014), anti-âge et antioxydant (Atolani *et al.*, 2011; Aliyu et Adeyina, 2022; Erhabor *et al.*, 2022).

L'arbre est très utilisée dans le traitement des troubles gynécologiques, des infections génitales, des affections rénales, de l'épilepsie, des évanouissements, des affections respiratoires, des rhumatismes, de la drépanocytose, du psoriasis, de l'eczéma, des dépressions du système nerveux central, des lésions de la peau et contre la faiblesse corporelle (Siddiqui *et al.*, 2015; Bello *et al.*, 2016; Assanti *et al.*, 2022).

L'écorce de *Kigelia africana* hachée et pelée à l'Est de l'arbre avec les racines d'*Acalypha vilcaulus* puis une poignée (matériel végétal) est bouillie avec de l'eau jusqu'à ce que l'eau soit au même niveau que le matériel végétal. Le décocté obtenu est pris à la dose d'une demi-tasse trois fois par jour pour induire la production laitière chez la nouvelle mère juste après l'accouchement (de Wet et Ngubane, 2014).

Une décoction du fruit de *Kigelia africana* mélangés avec les feuilles de *Calotropis procera*, feuilles/graines de *Xylopiya aethiopica* graines de *Garcinia kola*, plus l'extrait de maïs fermenté par voie orale en raison d'une tasse trois fois par jour est utilisée contre le cancer (Ashidi *et al.*, 2010; Erinoso



et Aworinde, 2012; Denou *et al.*, 2021). Le fruit bouilli avec du lait est utilisé contre les MST et comme aphrodisiaque pour les hommes (Setshogo et Mbereki, 2011).

La pâte obtenue du fruit de *Kigelia africana* en application locale lutte contre la tumeur du sein. Une décoction du fruit pris oralement lutte contre le diabète et l'hypertension (Musa *et al.*, 2011; Lawin *et al.*, 2016; Matowa *et al.*, 2020).

La décoction des écorces, des racines et des graines de *Kigelia africana* est utilisée par voie orale comme purgatif contre le diabète, les maladies de la peau (Jeruto *et al.*, 2008) et les ulcères (Orole *et al.*, 2013; Dos Santos *et al.*, 2014).

Une décoction d'écorce de *Kigelia africana* est utilisée en inhalation contre la grippe et le rhume (Kareru *et al.*, 2007). L'écorce et les feuilles en décoction sont utilisés par voie orale lutte contre le paludisme (Muthaura *et al.*, 2007).

Les fruits de *K. africana* non mûrs sont utilisés comme vermifuge. La bière (Muratina) fait à partir de l'extrait des fruits est utilisée pour le traitement de la rougeole pendant le bain des enfants. Les fruits séchés ou frais écrasés sont utilisés pour le traitement des plaies, des ulcères et de la syphilis (Saini *et al.*, 2009).

Le bois blanc à cœur brun est utilisé pour la fabrication des tambours, pirogues, mortiers, tabourets, et poteaux (Nabatanzi *et al.*, 2020b).

## COMPOSÉS PHYTO-CHIMIQUES

Le tableau 1 suivant montre les différents composés phyto-chimiques présents dans *Kigelia africana* et les parties de la plante dans lesquelles se trouvent chaque substances phyto-chimiques. Malgré, ces connaissances sur ces composées, des études supplémentaires sont nécessaires pour caractériser complètement la composition chimique de la plante. D'après ce tableau, des iridoïdes et des quinones ont été identifiés dans toutes les parties de la plante. L'écorce de la tige de *Kigelia africana* présente une plus grande diversité de substances phyto-chimiques comparativement aux autres parties. Les alcanes sont très fréquents dans les feuilles. Les naphthoquinones monoterpénoïdes (pinnatal, isopinnatal, kigelinol et isokigelinol) sont des composés uniques à *K. africana* (Tableau 1).

## ACTIVITÉS PHARMACOLOGIQUES

### Activité antipaludique

L'effet antipaludique *in vitro* des fractions d'acétate d'éthyle et d'hexane de l'extrait de chlorure de méthylène/méthanol (1:1) de l'écorce de la tige et des composés isolés a été évaluée avec les souches W-2 (MRA-157), SHF4 et CAM10. La fraction acétate d'éthyle a donné une activité significative d'inhibition pour la croissance plasmodiale (valeurs respectives de  $CI_{50}$  11,15 µg/ml, 3,91 µg/ml et 4,74 µg/ml pour les souches W-2, SHF4 et CAM10), tandis que la fraction n-hexane a donné une faible activité contre W-2 =  $CI_{50}$  73,8 µg/ml et SHF4 =  $CI_{50}$  21,8 µg/ml (Singh *et al.*, 2018).

La fraction de spécicoside isolé d'acétate d'éthyle a donné la plus grande activité contre W-2 ( $CI_{50}$  de 1,54 µg/mL), suivi de l'acide 2β,3β,19α-trihydroxyurs-12-en-28-oïque et de l'atranorine isolés de la fraction n-hexane avec des valeurs  $CI_{50}$  de 1,60 µg/ml et de 4,41 µg/ml, respectivement isolé de la fraction acétate d'éthyle a donné la plus faible activité antipaludique contre la souche W-2 avec une valeur de  $CI_{50}$

= 53,8 µg/ml. Le phosphate de chloroquine et la fraction d'acétate d'éthyle ont donné une activité contre la souche CAM10 avec les valeurs de  $CI_{50}$  de  $0,13 \pm 0,02$  et de  $4,74 \pm 1,18$  µg/ml tandis que la valeur de  $CI_{50}$  du phosphate de chloroquine, de la fraction d'acétate d'éthyle et du n-hexane contre SHF4 était respectivement de  $0,10 \pm 0,01$ ;  $3,91 \pm 0,98$  µg/ml et  $21,8 \pm 0,12$  (Singh *et al.*, 2018).

Les composés isolés de l'acide 2β,3β,19α-trihydroxyurs-12-en-28-oïque, l'atranorine, l'acide p-hydroxycinnamique, le spécicoside et le phosphate de chloroquine (médicament standard) ont trouvé une activité antipaludique contre la souche CAM 10 avec une valeur  $CI_{50}$  respectives de  $2,17 \pm 0,55$ ;  $2,81 \pm 1,07$ ;  $7,13 \pm 3,35$ ;  $2,34 \pm 1,15$  et  $0,25 \pm 0,04$  µg/mL (Zofou *et al.*, 2011; Zofou *et al.*, 2012). Le kigelinol, l'isokigelinol, l'isopinnatal et la 2-(1-hydroxyéthyl) naphtha (2, 3-b) furan-4,9-dione isolés des racines des plantes ont trouvé une activité antipaludique efficace. Le lapachol isolé des racines et du bois de la plante présente une activité antipaludique. Un autre composé la 2-(1-hydroxyéthyl)naphtho[2,3-b]furan-4,9-quinone obtenue à partir de l'écorce de la racine de *K. africana* montre également une activité antipaludique contre les souches de *Plasmodium falciparum* résistantes aux médicaments. L'activité antipaludique du pinnatal a été étudiée contre *P. falciparum* et la lignée cellulaire ECV-304 a montré une activité inhibitrice élevée avec une valeur  $CI_{50}$  de  $2,2 \pm 0,3$  µg/mL (Onegi *et al.*, 2002). L'extrait aqueux et organique des feuilles de *K. africana* a enregistré une activité antipaludique contre les souches de parasites *P. falciparum* K39 et V1/S avec une valeur  $CI_{50}$  respectives de  $53,2 \pm 9,8$  et  $42,2 \pm 12,2$  µg/mL.

### Activité anti-trypanosomienne

*Kigelia africana* intervient dans le traitement de la trypanosomose. Plusieurs études ethnobotaniques et ethnovétérinaires ont signalé l'utilisation de *K. africana* par les éleveurs dans le traitement de la trypanosomose chez les animaux (Dassou *et al.*, 2014; Ogni *et al.*, 2014; Dassou *et al.*, 2015; Iwaka *et al.*, 2022). Des essais *in vitro* ont montré l'efficacité des extraits d'hexane, d'acétate d'éthyle, de dichlorométhane et d'éthanol de l'écorce de la racine contre *T. b. rhodesiense* et *Trypanosoma brucei brucei* (Moideen *et al.*, 1999), les parasites responsables de la maladie du sommeil. Ces auteurs ont évalué l'activité anti-trypanosomienne *in vitro* des composés (isopinnatal, kigelinol, isokigelinol, et 2-(1-hydroxyéthyl)-naphtho-(2,3-b)-furan-4,9-quinone) isolés des extraits de dichlorométhane de la racine et de la tige qui ont été efficaces contre *T. b. rhodesiense* et *Trypanosoma brucei*. La pentamidine a été utilisée dans l'étude comme médicament standard (Moideen *et al.*, 1999).

### Activité antivirale

L'extrait des feuilles de *K. africana* a été utilisé pour évaluer l'activité antivirale contre la transcriptase inverse VIH-1. L'extrait a montré un faible niveau inhibiteur (33,1% et 11,1 % d'inhibition à la dose respective de 100 µg/ml et 50 µg/ml). L'extrait méthanolique des fruits de la plante a montré une inhibition de 13,2% de la transcriptase inverse à la dose de 100 µg/ml alors qu'il était inactif à la dose de 50 µg/ml. L'extrait méthanolique des fruits a été utilisé contre diverses souches virales et donné une faible activité antivirale contre le virus de la stomatite vésiculaire,

**Tableau 1 : Composés phytochimiques retrouvés dans *Kigelia africana* (Lam.) Benth**

N°	Nature du composé	Constituants phytochimiques	Partie de la plante	Référence
1	Quinones	Lapachol	Écorce de la tige, fruits, racines	(Binutu <i>et al.</i> , 1996; Houghton et Jäger, 2002; Sidjui <i>et al.</i> , 2014; Sidjui <i>et al.</i> , 2015; Atolani <i>et al.</i> , 2021)
		Dehydro $\alpha$ -lapachone	Écorce de la tige, fruits, racines,	(Sidjui <i>et al.</i> , 2014; Moronkola <i>et al.</i> , 2018)
		2-acetylfuro-1,4-naphthoquinone	Écorce de la tige	(Binutu <i>et al.</i> , 1996; Sidjui <i>et al.</i> , 2014 ; Sidjui <i>et al.</i> , 2015)
		Kigelinol	Écorce de la tige, racines, fruits	(Sidjui <i>et al.</i> , 2014; Sidjui <i>et al.</i> , 2015)
		Kigelinone	Écorce de la tige	(Moideen <i>et al.</i> , 1999; Olatunji et Atolani, 2009)
		Isokigelinol	Racines, écorce de la tige, racines, fruits	(Grace <i>et al.</i> , 2002; Lamorde <i>et al.</i> , 2010)
		Pinnatal	Racines, fruits, écorce de tige	(Jackson <i>et al.</i> , 2000; Olatunji et Atolani, 2009)
		Isopinatal	Racines et fruits, écorce de tige	(Olatunji et Atolani, 2009)
		Norviburtinal	Écorce de racine, fruits	(Jackson <i>et al.</i> , 2000; Sharma <i>et al.</i> , 2013)
		Sonovoburtinal	Écorce de racine	(Jackson <i>et al.</i> , 2000)
		2-(1-Hydroxyethyl)-naphtho[2,3-b] furan-4,9-quinone	Racine, écorce de racine	(Moideen <i>et al.</i> , 1999)
		Kigelinone	Racines, fruits, écorce de la tige	(Binutu <i>et al.</i> , 1996)
		2-acetylnaphtho[2,3-b] furan-4,9-quinone	Écorce de racine, racines	(Grace <i>et al.</i> , 2002)
		2-(1-hydroxyethyl) naphtho [2,3-b] furan-4,9-dione	Écorce de racine, racines	(Grace <i>et al.</i> , 2002)
		Tecomaquinone-I	Ecorce du tronc	(Atawodi et Olowoniyi, 2015)
Kojic acid	Écorce de la tige	(Sidjui <i>et al.</i> , 2015)		
2	Composés phénoliques	p-Coumaric acid	Écorce de la tige, fruits, racines	(Jackson <i>et al.</i> , 2000; Sidjui <i>et al.</i> , 2014; Sidjui <i>et al.</i> , 2015)
		Cafféic acid	Écorce de la tige, fruits, racines	[(Sidjui <i>et al.</i> , 2014; Sidjui <i>et al.</i> , 2015)
		Ferulic acid	Écorce de la tige, fruits	(Jackson <i>et al.</i> , 2000; Houghton et Jäger, 2002; Dhungana <i>et al.</i> , 2016)
		Atranorin	Écorce de tige	(Zofou <i>et al.</i> , 2011)
		Nonacosanoic acid, 2-(4-hydroxyphenyl) ethyl ester	Écorce de tige	(Sidjui <i>et al.</i> , 2014; Sidjui <i>et al.</i> , 2015)
		Luteolin	Racines, feuilles, bois	(Sharma <i>et al.</i> , 2013; Njogu <i>et al.</i> , 2018)
		Luteolin 7-O-glucoside	Feuilles	(Houghton et Jäger, 2002)
		6-hydroxyluteolin	Racines, feuilles, bois	(Njogu <i>et al.</i> , 2018)
		6-p-coumaroyl-sucrose	Fruits	(Moronkola <i>et al.</i> , 2018)
		Kigeliol	Bois	(Jackson <i>et al.</i> , 2000; Dhungana <i>et al.</i> , 2016; Moronkola <i>et al.</i> , 2018)
		Balaphonin	Écorce de la tige	(Grace <i>et al.</i> , 2002; Sharma <i>et al.</i> , 2013; Njogu <i>et al.</i> , 2018; Singh <i>et al.</i> , 2018)
		3	Coumarines	Kigelin
8-hydroxy-6, 7-dimethoxy-3-methyl-3, 4-dihydroisocoumarin	Racines			(Dhungana <i>et al.</i> , 2016)
8-hydroxy-6, 7-dimethoxy-3-methyl-3, 4-dihydroisocoumarin	Racines			(Dhungana <i>et al.</i> , 2016)
6-Demethylkigelin	Racines, écorce de la tige			(Moronkola <i>et al.</i> , 2018)
6-Methoxymellein				(Moronkola <i>et al.</i> , 2018)
1,3-dimethylkigelin	Écorce de la tige			(Sharma <i>et al.</i> , 2013; Sidjui <i>et al.</i> , 2015; Dhungana <i>et al.</i> , 2016)
4	Stérols	$\beta$ -Sitosterol	Écorce de la tige, fruits, racines	(Sidjui <i>et al.</i> , 2014)
		Stigmasterol	Écorce de la tige, racines,	(Grace <i>et al.</i> , 2002; Idris <i>et al.</i> , 2013)
		$\gamma$ -sitosterol	Écorce de la tige, fruits	(Grace <i>et al.</i> , 2002; Jackson <i>et al.</i> , 2000)
5	Triterpènes	Oleanolic acid	Écorce de la tige	(Grace <i>et al.</i> , 2002; Sidjui <i>et al.</i> , 2014; Sidjui <i>et al.</i> , 2015; Zofou <i>et al.</i> , 2012)
		Pomolic acid		
		2 $\beta$ ,3 $\beta$ ,19 $\alpha$ -Trihydroxy-urs-12-en-28-oic acid		

Tableau 1 (suite): Composés phytochimiques retrouvés dans *Kigelia africana* (Lam.) Benth

N°	Nature du composé	Constituants phytochimiques	Partie de la plante	Référence
6	Esters	Pentafluoro-N-heptadecyl	Feuilles	(Dhungana <i>et al.</i> , 2016)
		Hexadecanoic acid, ethyl ester	Fruits	(Obianagha <i>et al.</i> , 2021)
		2-ethylhexyloctadecyl sulfurous acid	Feuilles	(Sidjui <i>et al.</i> , 2014)
		2-(4-hydroxyphenyl) ethyl ester	Écorce	(Moronkola <i>et al.</i> , 2018)
7	Diterpènes	Phytol	Feuilles	(Atolani <i>et al.</i> , 2013)
		3-Hydro-4,8-phytene		(Atolani <i>et al.</i> , 2013)
8	Acides gras insaturés	(9Z,12Z)-Methyl octadeca-9,12-dienoate	Feuilles	(Atolani <i>et al.</i> , 2013)
		Vernolic acid	Écorce de la tige, racines, feuilles	(Grace <i>et al.</i> , 2002; Sharma <i>et al.</i> , 2013; Njogu <i>et al.</i> , 2018)
		Methyl-12-methyltetradecanoate	Feuilles	(Grace <i>et al.</i> , 2002; Houghton et Jäger, 2002)
		Palmitic acid or hexadecanoic acid	Feuilles, fleurs	(Moronkola <i>et al.</i> , 2018)
9	Iridoïdes	7-Hydroxyviteoid II	Fruits	(Gouda <i>et al.</i> , 2003; Bharti <i>et al.</i> , 2006; Dhungana <i>et al.</i> , 2016)
		7-hydroxy-10-deoxyeucommiol		(Gouda <i>et al.</i> , 2003; Bharti <i>et al.</i> , 2006; Dhungana <i>et al.</i> , 2016)
		10-Deoxyeucommiol		(Gouda <i>et al.</i> , 2003; Bharti <i>et al.</i> , 2006; Dhungana <i>et al.</i> , 2016)
		Jiofuran		(Gouda <i>et al.</i> , 2003; Bharti <i>et al.</i> , 2006; Dhungana <i>et al.</i> , 2016)
		3-(2-hydroxyethyl)-5-(2-hydroxypropyl)-4,5-dihydrofuran-2(3H)-one		(Gouda <i>et al.</i> , 2003; Bharti <i>et al.</i> , 2006; Dhungana <i>et al.</i> , 2016)
		7-hydroxyeucommic acid		(Gouda <i>et al.</i> , 2003; Bharti <i>et al.</i> , 2006; Dhungana <i>et al.</i> , 2016)
		7-hydroxy eucommiol	Racines, feuilles, bois	(Grace <i>et al.</i> , 2002; Gouda <i>et al.</i> , 2003)
		Jioglutolide		(Grace <i>et al.</i> , 2002; Gouda <i>et al.</i> , 2003)
		1-Dehydroxy-3,4-dihydroaucubigenin		(Grace <i>et al.</i> , 2002; Gouda <i>et al.</i> , 2003)
		Ajugol		(Grace <i>et al.</i> , 2002; Gouda <i>et al.</i> , 2003)
		Des-p-hydroxy benzoyl kisasagenol B		(Grace <i>et al.</i> , 2002; Gouda <i>et al.</i> , 2003)
		6-Trans-cafféoyl ajugol		(Grace <i>et al.</i> , 2002; Gouda <i>et al.</i> , 2003)
		Verminoside	Écorce de la tige, fruits, feuilles, racines	(Gouda <i>et al.</i> , 2003; Bharti <i>et al.</i> , 2006; Saini <i>et al.</i> , 2009; Sainadh <i>et al.</i> , 2013; Sharma <i>et al.</i> , 2013; Nabatanzi <i>et al.</i> , 2020b)
		Specioside	Écorce de la tige	(Zorn <i>et al.</i> , 2001; Gouda <i>et al.</i> , 2003)
Minecoside	Écorce de la tige	(Dhungana <i>et al.</i> , 2016)		
10	Alcanes	n-hentriacontane	Feuilles	(Dhungana <i>et al.</i> , 2016)
		2,6,10-trimethyldodecane		(Dhungana <i>et al.</i> , 2016)
		11-(2,2-dimethylpropyl) heneicosane		(Dhungana <i>et al.</i> , 2016)
		4,4-dimethylundecane		(Grace <i>et al.</i> , 2002; Houghton et Jäger, 2002)
		1-iodohexadecane		(Houghton et Jäger, 2002)
		1-iodododecane		(Houghton et Jäger, 2002)
		Tritriacontane		(Gouda <i>et al.</i> , 2003)
		Hentriacontane		(Gouda <i>et al.</i> , 2003)
		Nonacosane		(Gouda <i>et al.</i> , 2003)
Heneicosane	(Dhungana <i>et al.</i> , 2016)			
11	Fraction flavonoïde	1H-2-Benzopyran-1-one, 3,4-dihydro-8-hydroxy-6-methoxy-3-methyl	Fruits	(Obianagha <i>et al.</i> , 2021)
		1H-2-Benzopyran-1-one, 3,4-dihydro-6,8-dihydroxy-7-methoxy-3-methyl		(Obianagha <i>et al.</i> , 2021)
12	Phénylpropanoïdes	Eugenol	Fruits	(Obianagha <i>et al.</i> , 2021)
14	Composé alcoolique	Glycerin	Fruits	(Obianagha <i>et al.</i> , 2021)
15	Acide palmitique	n-Hexadecanoic acid	Fruits	(Obianagha <i>et al.</i> , 2021)
16	Acide linoléique	9, 12-Octadecadienoic acid (Z, Z)	Fruits	(Obianagha <i>et al.</i> , 2021)

mais aucun effet contre le virus Coxsackie B2, le virus de l'herpès simplex de type 1 et le virus forestier Semliki A7 (Maregesi et al., 2008).

### Activité anticonvulsives

Les extraits méthanoliques et aqueux de l'écorce de *Kigelia africana* ont été évalués chez les rats Wistar pour leur activité anticonvulsive en utilisant la technique des convulsions induites par le pentylènetétrazol (PTZ) et l'électrochoc maximal (MES). Ses deux extraits ont montré une puissante activité anticonvulsive provenant de la présence d'acide cinnamique et linoléique. Des doses de 250 mg/kg et 500 mg/kg d'extraits méthanoliques et aqueux ont été administrées par voie intrapéritonéale aux rats. Les extraits ont attribué une protection significative contre les convulsions induites par le MES et le PTZ (Abhishek et al., 2010).

### Effet antiulcéreux

L'utilisation de l'écorce, du fruit et de la racine de *Kigelia africana* pour soigner l'ulcère a été signalée (Saini et al., 2009). Owolabi et Nworgu (2009); Orole et al. (2013); Dos Santos et al. (2014) ont évalué l'activité antiulcéreuse de l'extrait éthanolique de l'écorce de la tige chez des rats albinos Wistar. Dans deux modèles préventifs et curatifs d'ulcère induit respectivement par l'éthanol absolu et l'indométhacine, l'extrait a provoqué une inhibition marquée de l'ulcération suggérant un effet gastro-protecteur dose-dépendant des deux modèles d'ulcère (Sharma et al., 2010).

### Activité nématocide

L'isovitexine, isolée de *K. africana* a été testée contre *Meloidogyne incognita* (nématode racinaire du coton) et elle a également engendré un taux de mortalité nématocide significatif (39,8%) comparativement au contrôle (2,18%), les œufs de *M. incognita* provenant des racines de *Solanum melongena* utilisés comme organisme test et l'oxamyl a servi de témoin positif. Le tolaside isolé s'est montré plus actif que le témoin (oxamyl) après 30 min d'exposition au *M. incognita* avec un pourcentage de mortalité de 29,43% alors que le médicament standard oxamyl a montré une mortalité de 20,22%. L'extrait méthanolique brute de *K. africana* n'a donné que quelques éclosions. La plus faible concentration (25%) a permis quelques éclosions tandis que les fortes doses (50 et 75%) ont complètement freiné l'éclosion des œufs (Bello et al., 2016; Atolani et al., 2021).

### Activité anti-diarrhéique

Les feuilles de *K. africana* sont utilisées dans le traitement de la diarrhée. L'administration d'extrait aqueux des feuilles de 100 ou 200 mg/kg à des animaux expérimentaux a montré une activité anti-diarrhéique. Elle a également réduit la production de matières fécales dans la diarrhée induite par l'huile de ricin chez ces animaux expérimentaux et a diminué significativement le mouvement propulsif du contenu gastro-intestinal (Akah, 1996). Sur l'iléon isolé des animaux, l'extrait n'a eu aucun effet sur les contractions induites par l'histamine et l'acétylcholine. Dans une étude sur l'activité anti-diarrhéique avec l'huile de ricin pour provoquer (*in vivo*) la diarrhée chez les rats en utilisant le jéjunum isolé 500 et 1000 mg/kg d'extrait éthanolique des racines (*in vitro*) ont réduit considérablement la fréquence des selles diarrhéiques et le flux propulsif spontané du

jéjunum isolé (Akah, 1996). L'extrait des racines a également donné une inhibition réversible de la mobilité induite par l'acétylcholine du jéjunum isolé du lapin. Les effets spasmodiques de l'extrait observés peuvent justifier son utilisation continue dans le contrôle des douleurs abdominales et chroniques associées à la diarrhée (Otimenyin et Uzochukwu, 2012).

### Activités antibactériennes et antifongiques

Différentes parties de *K. africana* sont utilisées pour soigner les infections bactériennes et fongiques (Sidjui et al., 2016; Awere et al., 2021; Biyela et Mohanlall, 2022). Dans une étude destinée à vérifier ces propriétés, des extraits bruts des fruits et d'écorce de tige ont été préparés avec l'eau distillée, l'éthanol ou l'acétate d'éthyle. Dans le bioessai sur plaque de microtitration, les extraits des fruits et d'écorce de tige ont montré des effets antibactériens similaires contre les bactéries Gram-positives et Gram-négatives. Un mélange de trois acides gras possédant des effets antibactériens a été isolé de l'extrait d'acétate d'éthyle des fruits en employant un fractionnement bioguidé (Abdeldafie, 2012; Fomogne-Fodjo et al., 2014). L'acide palmitique représentait le principal composé antibactérien du mélange, ce qui justifie l'utilisation traditionnelle de *K. africana* dans la thérapie des infections bactériennes (Grace et al., 2002). Un fractionnement biologiquement contrôlé des extraits méthanoliques des fruits et de la racine a conduit à l'isolement de la kigelinone, des naphtoquinones, de l'isopinnatal, de la déhydro- $\alpha$ -lapachone, du lapachol, des phénylpropanoïdes, de l'acide  $p$ -coumarique et de l'acide férulique comme composés contribuant aux activités antifongiques et antibactériennes observées (Binutu et al., 1996). Les valeurs moyennes des zones inhibitrices enregistrées par Awere et al. (2021) pour *K. africana* variaient de 12,07 à 15,56 mm entre 25 et 100 g/l. L'étude suggère que les extraits de *K. africana* ont eu la plus grande activité inhibitrice (antimicrobienne).

Dans une autre étude antifongique et antibactérienne utilisant la technique de diffusion en gélose, Owolabi et Omogbai (2007) ont rapporté que les antibiotiques standard comme amoxicilline, l'extrait éthanolique brut présentait des activités antibactériennes et antifongiques contre *Staphylococcus aureus* et *Candida albicans* avec des zones d'inhibition mesurant  $15,0 \pm 0,95$  et  $20,7 \pm 4,6$  mm respectivement mais l'extrait aqueux ne présentait aucune activité antifongique ou antibactérienne. De plus, l'évaluation des activités antibactériennes des extraits éthanoliques et aqueux du fruit contre *Pseudomonas aeruginosa* multirésistant aux médicaments a démontré que l'extrait éthanolique était plus puissant que l'extrait aqueux (Tyagi et al., 2011). L'extrait méthanolique du fruit de *K. africana* s'est avéré actif contre *C. neoformans* avec une concentration fongicide minimale supérieur à 1 g/mL (Hamza et al., 2006). Les extraits de fruits de *K. africana* au méthanol à l'eau et à l'acétate d'éthyle ont montré une puissante activité antibactérienne. Les extraits de l'eau et du méthanol ont montré la plus grande spécificité en inhibant la croissance de 11 des 18 bactéries testées (61%) et de 12 des 18 bactéries testées (67%) respectivement. L'extrait d'acétate d'éthyle aussi présenté une activité antibactérienne inhibant la croissance de 4 (22%) des 18 bactéries testées. Ces extraits étaient à peu près aussi efficaces contre les bactéries Gram-positives et Gram-négatives, inhibant

généralement la croissance de 60 à 70% des bactéries testées. Les extraits d'eau, de méthanol et d'acétate d'éthyle ont aussi montré une activité antifongique à large spectre, chacun inhibant la croissance de 3 des 4 espèces fongiques testées (75%) y compris la souche d'*A. niger* sous ampicilline (Arkhipov *et al.*, 2014; Sidjui *et al.*, 2016).

Dans une étude visant à évaluer la propriété antimicrobienne des nanoparticules de cuivre (CuNPs) sur *Pseudomonas aeruginosa*, *Shigella sp.*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhi*, *E. coli*. L'activité d'inhibition la plus élevée a été présentée par *Pseudomonas aeruginosa* (17,0 ± 4,24 mm). Les CuNPs ont montré une activité antifongique considérable contre *Aspergillus flavus* et *Aspergillus niger* avec une activité d'inhibition respective de 8,0 ± 2,83 mm et 3,0 ± 4,24 mm (Alao *et al.*, 2022).

### Activité anticancéreuse

Les extraits éthanoliques, aqueux et dichlorométhanoliques des fruits et de l'écorce de la tige de *K. africana* ont été signalés pour leur activité anticancéreuse (Alawode, 2013; Denou *et al.*, 2021; Tembo *et al.*, 2021) contre quatre lignées cellulaires de mélanome et une lignée de carcinome rénal (Caki-2) en utilisant les tests au bromure de 3-(4,5-diméthylthiazol-2-yl)-2,5-diphényl tétrazolium (MTT) et à la sulforhodamine B. Le lapachol isolé de ces extraits s'est révélé efficace dans le traitement de la kératose solaire et du sarcome de Kaposi (une affection cutanée liée au VIH). Le lapachol présente une cytotoxicité contre *Artemia salina* dans le test biologique de la crevette de saumure, ce qui indique un potentiel anti-tumoral. Il a été signalé que les phytoconstituants norviburtinal et isopinatal se sont révélés actifs contre des lignées cellulaires de mélanome (Houghton et Jäger, 2002).

Ces extraits se sont également avérés efficaces pour bloquer la prolifération de la lignée de cellules cancéreuses colorectales CaCo2 à hauteur de 37 à 55% de la croissance cellulaire non traitée. L'extrait de méthanol a également inhibé la croissance des cellules HeLa de cancer du col de l'utérus tandis que les extraits de chloroforme et d'hexane ont stimulé la prolifération des cellules HeLa (Arkhipov *et al.*, 2014). Les activités cytotoxiques in vitro des deux extraits étaient significativement différentes (P = 0,05). L'extrait méthanolique a présenté une activité très élevée (CI<sub>50</sub> = 26,02 µg/ml) par rapport à celle du dichlorométhane: méthanol (1:1) (CI<sub>50</sub> = 55,0 µg/ml). Le criblage phytochimique des deux extraits a révélé la présence de terpénoïdes, phénols, stéroïdes et flavonoïdes (Mukavi *et al.*, 2020).

L'huile des graines de *K. africana* a montré un effet anti-prolifératif significatif contre les cellules humaines d'adénocarcinome du colon (Caco-2) et de rein embryonnaire humain (HEK-293). L'huile de graines de *K. africana* a supprimé la croissance cellulaire des cellules HEK-293 et Caco-2 de manière dose-dépendante (Chivandi *et al.*, 2012). Le verminoside (un dérivé iridoïde) et le verbascoside (un composé phényléthanoïde) ont été signalés pour leurs tendances génotoxiques (Santoro *et al.*, 2008).

### Activité antipyrétique

L'administration des extraits méthanoliques de l'écorce de la tige de *K. africana* (50, 100 et 150 mg/kg de poids corporel) a montré une activité antipyrétique sur la pyrexie provoquée par la térébenthine chez les rats wistar mâles en diminuant le niveau élevé de la température rectale.

L'aspirine (100 mg/kg de poids corporel) a été utilisée comme médicament de référence. L'activité antipyrétique maximale des extraits a été observée après 4 heures (50 mg/kg, 100 mg/kg et 150 mg/kg de poids corporel ainsi que l'aspirine ont réduit la température rectale élevée respectivement de 1,41%, 2,09%, 3,07% et 2,40%), indiquant une diffusion passive lente mais régulière des composés bioactifs à travers la membrane cellulaire. L'activité antipyrétique de l'extrait aux doses de 50 mg/kg et 100 mg/kg de poids corporel n'a montré aucune différence statistiquement significative (P > 0,005) par rapport au groupe témoin. Cependant, le groupe traité avec l'extrait à la dose de 150 mg/kg de poids corporel était comparable au groupe de rats traités avec le médicament standard aspirine (P > 0,05) (Kamau *et al.*, 2016).

### Activité antiamibienne

L'extrait de butanol de l'écorce de la tige de *K. africana* a montré une activité antiamibienne (*in vitro*) contre la souche HK-9 d'*Entamoeba histolytica* par la méthode de microdilution en utilisant le métronidazole comme médicament standard. Le verminoside isolé de l'écorce de la tige de *K. africana* a une activité antiamibienne deux fois plus importante que le métronidazole tandis que l'activité antiamibienne du specioside est comparable à celle du métronidazole (Sainadh *et al.*, 2013). Le minécocide et le verminoside isolés de l'extrait butanolique de l'écorce de la tige de *K. africana* possèdent également une activité antiamibienne (Zorn *et al.*, 2001).

### Activités anti-inflammatoires et analgésiques

L'extrait éthanolique de l'écorce de la tige a été étudié pour sa propriété analgésique en utilisant l'acide acétique produit par les torsions de la souris et le temps de réaction de la plaque chauffante et sa propriété anti-inflammatoire en utilisant l'œdème de la patte induit par la carragénine. Dans l'œdème de la patte induit par la carragénine, une inhibition significativement dépendante de la dose a été observée (p<0,001) entre 2 à 5 heures confirmant que l'extrait éthanolique d'écorce de tige possède des propriétés anti-inflammatoires et analgésiques significatives (Carey *et al.*, 2010).

L'utilisation des feuilles, des fruits, de l'écorce, de la tige et des rameaux de *Kigelia africana* pour soulager les maux de tête, les rhumatismes et les maux de dents a été signalée (Houghton et Jäger, 2002; Fredrick *et al.*, 2014). L'activité anti-inflammatoire de l'extrait polaire du fruit a été signalisée comme provenant de son composé le verminoside (Owolabi and Omogbai, 2007). Ce composé est connu pour induire les effets anti-inflammatoires significatifs en inhibant la synthèse d'oxyde nitrique et la libération de NO par les macrophages stimulés par les lipopolysaccharides bactériens.

### Activité antidiabétique

L'extrait méthanolique des feuilles de *K. africana* (100-400 mg/kg) a été étudié pour sa propriété antidiabétique chez des rats diabétiques induits par l'alloxan (120 mg/kg) avec le glibenclamide (5 mg/kg) a été pris comme médicament standard. L'extrait méthanolique à la dose de 200-400 mg/kg baisse significativement le niveau de glucose dans le sang alors que l'extrait à la dose de 100 mg/kg n'a produit aucun effet. Le traitement des rats diabétiques

avec l'extrait de méthanol (200-400 mg/kg) a produit une réduction significative du niveau sérique de triglycéride et de cholestérol d'une manière dose-dépendante qui a été enregistré comparativement au médicament standard (glibenclamide) (Priya *et al.*, 2014; Akapelwa *et al.*, 2021). L'administration quotidienne de l'extrait méthanolique dégraissé (durant 21 jours) de la fleur de *K. africana* lors des infections à streptozotocine engendre une réduction significative ( $P < 0,001$ ) du taux de glucose dans le sang, de manière dose-dépendante de  $288 \pm 2,30$  mg/dl à  $152 \pm 2,7$  mg/dl et de  $1,5$  mg/dl à  $298 \pm 3,50$  mg/dl à  $138 \pm 3,5$  mg/dl aux doses de 250 et 500 mg/kg respectivement. Le glibenclamide (10 mg/kg) a été pris comme médicament standard. Les triglycérides et le cholestérol sanguin total ont été réduits alors que le taux de cholestérol des lipoprotéines de haute densité a été significativement amélioré par rapport au lot témoin diabétique (Kumar *et al.*, 2012). L'extrait du fruit a montré une propriété antidiabétique en réduisant le niveau du sucre dans le sang due à la présence des terpénoïdes (Nyarko *et al.*, 2005).

### Activité hépato-protectrice

L'extrait aqueux des feuilles de la plante de *K. africana* a donné une activité hépatoprotectrice significative dans les dommages hépatiques provoqué par le paracétamol chez les rats (Olaleye et Rocha, 2008). L'extrait méthanolique des fruits a été évalué pour son activité sur la toxicité hépatique induite avec le CCL4 chez les rats Wistar mâles. La silymarine (50 mg/kg) a été pris comme médicament standard. L'extrait aqueux s'est avéré toxique mais non fatal pour les rats Wistar lorsqu'on injecte les doses de 100, 200 et 400 mg/kg par voie orale. Les extraits de fruits modifient la vacuolisation graisseuse cytoplasmique, les taux de croissances, et la nécrose des hépatocytes centrolobulaires dans le foie, attribués à l'augmentation de l'activité de l'enzyme aspartate aminotransférase et à la baisse de l'activité de l'alanine transaminase et la concentration d'albumine (Shama *et al.*, 2013). L'extrait de fruit de *K. africana* (100 mg/kg) a donné des effets protecteurs pour les affections du foie à cause de son pouvoir à agir comme un antioxydant (Olaleye et Rocha, 2008).

### Effets sur les organes reproducteurs et le système reproducteur des animaux

Dans la médecine traditionnelle, les troubles sexuels tels que l'asthénie sexuelle, la faible libido, l'infertilité et l'impuissance sont traités par des produits à base de plantes contenant les racines, le fruit ou les feuilles de *Kigelia africana* (Dada *et al.*, 2010; Telefó *et al.*, 2011; Romuald *et al.*, 2019). Une petite quantité de fruits non mûrs est mâchée ou une préparation aqueuse des fruits est prise par voie orale comme stimulant sexuel et la bière traditionnelle enivrante à laquelle ils sont ajoutés est bue comme aphrodisiaque (Oyelami *et al.*, 2012). Les fruits sont également appliqués sur la poitrine pour améliorer l'écoulement du lait chez les femmes qui allaitent (Saini *et al.*, 2009). L'extrait aqueux du fruit a été utilisé avec succès pour amélioration de la fertilité chez les rats expérimentaux (Adeparusi *et al.*, 2010). Une étude cherchant à évaluer les effets d'une supplémentation alimentaire avec *Kigelia africana* sur la fertilité et la qualité du sperme de *Clarias gariepinus*, a prouvé que l'inclusion alimentaire avait un

effet positif sur certains paramètres de la qualité du sperme chez le *Clarias*, avec une augmentation du taux de motilité, de la durée de la motilité, du nombre de spermatozoïdes et du volume de laitance (Dada *et al.*, 2010).

### Activité diurétique

L'activité diurétique des extraits aqueux d'écorce de *Kigelia africana* a été évaluée pour déterminer la puissance diurétique, la concentration en électrolytes et le volume d'urine chez des rats albinos mâles (Sharma *et al.*, 2010). Différentes concentrations (250 et 500 mg/kg) de l'extrait ont été administrées oralement aux rats hydratés et leur débit urinaire a été immédiatement évalué après 5 heures de traitement. La solution saline (0,9%) et le furosémide (10 mg/kg) a été considérée comme médicament standard. Le résultat a démontré que l'extrait d'écorce présente une activité diurétique dépendante de la dose. Le début de l'effet diurétique s'est produit dans l'heure qui a suivi et a duré jusqu'à 5 heures (500 mg/kg) montrant une puissance respective de 0,8 et 250 mg/kg. L'extrait a également induit une augmentation considérable des étiquettes ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Cl}^-$ ) (Owolabi et Nworgu, 2009; Azu, 2013). Ces résultats suggèrent que l'extrait possède une importante propriété diurétique justifiant son utilisation en médecine pour les affections rénales et urinaires.

### Valeur nutritionnelle

Les graines de *K. africana* sont grillées pour être consommées en période famine. L'écorce et les fruits sont utilisés dans le processus de brassage pour accélérer la fermentation et améliorer la saveur de la bière traditionnelle. La pulpe du fruit n'est pas comestible car elle peut provoquer des cloques sur la langue et la peau. Cependant, les feuilles, les fruits et les fleurs tombés au sol sont consommés par le gibier, le bétail et la faune (Oyelami *et al.*, 2012; Nabatanzi *et al.*, 2020b). Dans une étude sur l'effet de la farine du fruits (KAFM) sur la qualité du sperme de *Clarias gariepinus*, le supplément de farine peut avoir améliorer l'utilisation des nutriments car on observe l'amélioration du gain de poids des testicules (Adeparusi *et al.*, 2010). L'effet pro-fertilité a été étudié avec la farine des fruits séchés (KAFM) sur les performances reproductives des femelles *Clarias gariepinus* alimentés avec des niveaux croissants pendant 90 jours en relation avec la production et la qualité des œufs (structure, nombre, forme, fécondité) et l'éclosion (percentile d'éclosion, percentile de fertilisation, percentile de survie). La diminution du percentile d'éclosions et de déformation chez *Clarias gariepinus* alimenté au KAFM en comparaison au régime témoin suggère que la farine (KAFM) améliore la qualité des larves. Le plus haut percentile de survie des éclosions a été observé chez les poissons alimenté avec du KAFM (100 g KAFM/kg). La taille des œufs nourris avec le régime témoin et les niveaux alimentaires n'ont montré aucune différence significative. Le résultat enregistré montre que le KAFM séché a une plus grande fertilité sur les *Clarias gariepinus* mâles que sur les femelles.

### Effet sur le système nerveux central

*K. africana* intervient dans l'activité stimulante du Système Nerveux Central (SNC), le traitement de l'épilepsie et comme antidote contre les poisons des serpents. Ces

antidotes contre les morsures de serpent sont préparés avec l'infusion des feuilles, des fruits, de l'écorce, de la tige ou du rameau et administré par voie orale ou appliquée directement sur la morsure (Amaechina et Eledan, 2007). L'activité stimulante du SNC avec l'extrait éthanolique d'écorce de tige a été signalée (Abioye *et al.*, 2003). Le temps de sommeil induit par les barbituriques et la barre de Rota ont été exploités pour étudier l'effet de l'extrait sur la coordination musculaire chez les souris. Les résultats ont montré que l'extrait a réduit la durée du sommeil à toutes les doses testées par rapport au témoin qui a reçu de l'eau distillée. Cette différence était significative dans le temps de sommeil ( $p < 0,0001$  à toutes les doses testées). Son activité a été aussi comparée à celle de la caféine (stimulant connu) et l'extrait a montré une durée de sommeil plus courte que la caféine ( $p < 0,05$  à la dose de 400 mg/kg), ce qui confère les meilleures propriétés stimulantes. En référence avec le diazépam, l'extrait, à toutes les doses testées, a aussi donné une durée de sommeil plus courte et statistiquement significative.

### Propriété aphrodisiaque

L'extrait aqueux des fruits possède une activité positive sur la fertilité des rats. L'extrait améliore la qualité du sperme de *Clarias gariepinus* et augmente le poids testiculaire (Abioye *et al.*, 2003). Des études *in vitro* avec les extraits des fruits chez des rats mâles adultes durant 28 jours ont augmenté de manière significative ( $P < 0,001$ ) la motilité des spermatozoïdes et le nombre de spermatozoïdes des rats au-dessus de 70% (Azu, 2013). L'écorce de la tige possède également une fortes activité aphrodisiaques (Abioye *et al.*, 2003). Les saponines retrouvés dans la plante renforcent les propriétés aphrodisiaques à cause de leur effet stimulant sur la production d'androgènes (Gauthaman *et al.*, 2002).

### Activité de cicatrisation

L'extrait aqueux de l'écorce de la tige a révélé une activité de cicatrisation à la dose de 250 et 500 mg/kg (Sharma *et al.*, 2010). Les feuilles de *K. africana* ont révélé une puissante activité sur la plaie d'excision et une influence significatives ( $P < 0,05$ ) sur la fermeture des plaies de 7 à 15 jours après le traitement alors que l'extrait méthanolique de l'écorce de la tige a montré des effets semblables sur la guérison de la plaie de 10 à 18 jours après le traitement. Le verbascoside isolé a montré des propriétés antinociceptives et cicatrisantes (Alipieva *et al.*, 2014).

### Préparations cosmétiques

*Kigelia africana* est utilisé traditionnellement comme cosmétique pour améliorer la beauté (Oyelami *et al.*, 2012). La plante contient deux flavonoïdes (lutéoline et quercitine) et des saponines stéroïdiennes. L'extrait du fruit est utilisé pour développer la poitrine, renforcer la force et la stabilité des fibres de collagènes mammaires. La crème fait à base des extraits du fruit est employée pour éliminer les taches solaires (kératose solaire), notamment les mains et sur le visage. Certains crèmes pour la peau sont dérivés du fruit et servent à cuire la chevelure et le shampooing. Quelques produits cosmétiques courants dont l'un des ingrédients actifs est le *kigelia* rendent la peau lisse et réduisent la profondeur des rides, éclaircissent naturellement la pigmentation, favorisent l'élasticité du teint, éliminent les

impuretés, nettoient en profondeur et réduisent les imperfections de la peau. *K. africana* resserre la peau délicate du contour des yeux. La plante stimule la circulation et affine la peau. La pulpe du fruit et ses extraits peuvent intervenir dans les produits pharmaceutiques, nutraceutiques, cosmétiques, diététiques/compléments à base de plantes et autres (Nabatanzi *et al.*, 2020a). Les produits spécifiques pourraient impliquer l'utilisation d'agent antioxydant, anti-inflammatoire et ingrédient actif cosmétique pour resserrer la peau.

### Propriétés antioxydantes

Le test du potentiel antioxydant total de 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyl a été comparé à acide ascorbique standard. Les potentiels antioxydants des fruits et des feuilles de *Kigelia africana* étaient significativement ( $p < 0,05$ ) supérieurs à celui du médicament standard (Aliyu et Adeyina, 2022). L'extrait d'acétate d'éthyle des racines a montré une propriété antioxydante très élevée ayant atteint le pic à 0,25 mg/ml. L'extrait hexanique des racines de *K. africana* a montré une augmentation de l'activité antioxydante totale lorsque la concentration augmente de manière dose-dépendante. L'extrait méthanolique de la racine a montré l'activité la plus élevée à 0,2 mg/ml (Atolani *et al.*, 2021). Les valeurs  $CI_{50}$  des extraits méthanoliques des feuilles et de l'écorce de la tige de la plante ont données respectivement 56,9 et 13,7 µg/ml.

### Toxicité de *K. africana*

#### Toxicité aiguë

Dans une étude expérimentale chez les rats sur l'activité diurétique de l'extrait aqueux de l'écorce, Sharma *et al.* (2010); Azu *et al.* (2010) ont signalé que l'extrait était efficace jusqu'à 5 g/kg. Une détermination de la toxicité aiguë avec l'extrait du fruit de l'éthanol chez les rats Sprague-Dawley mâles, a montré que l'extrait était bien toléré par les animaux, car il n'y avait pas de signes visibles de toxicité aiguë comme le vertige, l'agitation ou la saisie après l'administration de 400 mg/kg. Néanmoins, à 6400 mg/kg, les animaux ont montré des signes de toxicité comme les torsions et les secousses avec 60% de mort. A 12800 mg/kg, la mort des animaux était de 80%. La  $DL_{50}$  a été estimée à partir d'une courbe logarithmique à 3981 mg/kg (Zofou *et al.*, 2011; Halder et Sharma, 2017). Dans une autre étude, 100 mg/kg d'extrait aqueux ont été administrés à des rats induits par la toxicité hépatique de l'acétaminophène. L'extrait a contré l'effet de l'acétaminophène sur les activités de l'atransaminase (AST), de l'alanine transaminase (ALT), du Superoxyde Dismutase (SOD), de la catalase (CAT), de la glutathion peroxydase (GPx) et de la  $\delta$ -aminolevulinatase déshydrogénase ( $\delta$ -ALA-D). Cela suggère que l'extrait peut agir comme un agent protecteur contre la toxicité, probablement grâce à son action antioxydante (Owolabi et Nworgu, 2009).

#### Toxicité subchronique et chronique

L'extrait aqueux antidiabétique ADD-199 contenant *Kigelia africana* et trois autres plantes administré à une dose quotidienne de 100 ou 500 mg/kg de poids corporel pendant 30 jours à des rats albinos Wistar mâles n'a donné aucun effet sur de nombreux paramètres urinaires, biochimiques, hématologiques et plasmatiques. Il n'a montré aucun effet

sur certains modulateurs de certaines isozymes hépatiques du cytochrome P450 (CYP) normalement mesurés comme indices de toxicité spécifique à un organe ou d'un potentiel interaction médicamenteuses. Plus précisément, l'ADD-199 contenant *Kigelia africana* n'a pas affecté les taux plasmatiques d'AST, d'ALT, de phosphatase alcaline (ALP) et d'albumine ou de créatinine kinase (CK) (Ola-leye et Rocha, 2008). Il n'a pas non plus affecté les taux plasmatiques de créatinine et d'urée. En outre, l'ADD-199 n'a pas affecté le volume globulaire (VGP), ni les taux de globules rouges (GR), de réticulocytes, de plaquettes, de lymphocytes et de granulocytes. Il a toutefois entraîné des réductions significatives, proportionnelles à la dose, du nombre de globules blancs au jour 15, avec des degrés variables de récupération au 30<sup>ème</sup> jour. L'ADD-199 a également réduit le taux d'augmentation du poids corporel après la troisième semaine. Cependant, aucun changement n'a été observé dans le poids des organes à la fin de l'étude. L'ADD-199 n'a pas affecté de façon significative la paralysie induite par la zoxazolamine et le temps de sommeil induit par le pentobarbital (Zofou *et al.*, 2011).

### Activité cytotoxique

La cytotoxicité des extraits de d'hexane, chloroforme, d'acétate d'éthyle, d'éthanol et de méthanol des différentes parties de *Kigelia africana* a étudiée sur *Artemia salina* en exploitant le test de la crevette de saumure (BSLT). Ashraf *et al.* (2010) ont enregistré une toxicité modérée de l'extrait éthanolique de la racine et du fruit aux doses respectives de 593 et 124 µg/ml alors que l'extrait d'acétate d'éthyle du fruit était également modérément toxique à 495 µg/ml. Ces auteurs ont enregistré une cytotoxicité modérée de l'extrait éthanolique du fruit sur *Artemia salina* à une dose de 1000 µg/ml (Fagbohun *et al.*, 2021).

### Effets molluscicides et pesticides

Les effets molluscicides et pesticides des extraits aqueux d'écorce de *K. africana* ont été signalés (Halder et Sharma, 2017; Assanti *et al.*, 2022). Dans une étude visant à déterminer l'effet pesticide de l'extrait aqueux d'écorce contre les alevins de *Clarias gariepinus*, des concentrations graduelles (40, 80, 120 ppm) de l'extrait ont été préparées dans lesquelles ont été additionnés vingt alevins en répliques. Le test de toxicité a duré 24 heures durant lesquelles des observations ont été faites (1, 2, 4, 8, 12, 16, 20 et 24 heures). Des niveaux variables de mortalité ont été enregistrés avec 100% de mort dans le réservoir de concentration 120 ppm après 4 heures et l'agent causal identifié était les coumarines (Ashraf *et al.*, 2010).

## CONCLUSION

*Kigelia africana* est une plante utilisée à des fins thérapeutiques aussi bien en santé animale qu'en santé humaine à cause de ses nombreuses propriétés médicinales. Cette plante possède divers métabolites secondaires. Elle est largement répandue dans le monde avec de nombreux noms communs. *Kigelia africana* a des activités biologiques et pharmacologiques très diversifiées. La plante entière est très utile, car toutes ses parties, comme la tige, le fruit, la racine, l'écorce, les feuilles, les fleurs ont une valeur médicinale. Cette plante est très active sur le plan phar-

maceutique. Cette synthèse sur *Kigelia africana* permet de d'orienter de nouvelles recherches vers l'évaluation des propriétés antiparasitaires de la plante en santé animale et en particulier sur les trypanosomes du bétail.

## RÉFÉRENCES

- Abdeldafie, E.I.E. (2012). Antibacterial Activity of Some Parts of Umm Shutour Tree (*Kigelia africana* L.) By (PhD Thesis), University of Gezira, p.73.
- Abhishek, S., Umesh, K.S., Umashankar, S., Niranjana, S., Vimlesh, M., Garima, Y. (2010). Anticonvulsant activity of *Kigelia pinnata* bark extract. *Int. J. Pharm. Pharm. Sci.*, 2: 147–9.
- Abioye, A.I.R., Duru, F.I.O., Noronha, C.C., Okanlawon, A.O. (2003). Aqueous extract of the bark of *Kigelia africana* reverses early testicular damage induced by methanol extract of *Carica papaya*. *Niger. J. Health Biomed. Sci.*, 2: 87–89.
- Adeparusi, E.O., Dada, A.A., Alale, O.V. (2010). The effects of medicinal plant (*Kigelia africana*) on sperm quality of African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) Broodstock. *J. Agric. Sci.*, 2: 193–199.
- Akah, P.A. (1996). Antidiarrheal activity of *Kigelia africana* in experimental animals. *J. Herbs Spices Med. Plants*, 4: 31–38.
- Akapelwa, T.M., Ezaela, C.E., Mushabati, F., Bamitale, S.D.K., Kibuule, D. (2021). Commentary on the Antidiabetic Activity of *Kigelia Africana*. *J. Prev. Rehabil. Med.*, 3: 21–23.
- Alao, I.I., Oyekunle, I.P., Iwuozor, K.O., Emenike, E.C. (2022). Green Synthesis of Copper Nanoparticles and Investigation of Its Anti-Microbial Properties. *Adv. J. Chem.-Sect. B*, 4: 39–52.
- Alawode, T.T. (2013). An overview of the anti-cancer properties of some plants used in traditional medicine in Nigeria. *Int. Res. J. Biochem. Bioinform.*, 3: 7–14.
- Alipieva, K., Korkina, L., Orhan, I. E., Georgiev, M.I. (2014). Verbascoside: A review of its occurrence, (bio) synthesis and pharmacological significance. *Biotechnol. Adv.*, 32: 1065–1076.
- Aliyu, K., Adeyina, A. (2022). Phytochemical, vitamin compositions and antioxidant potential of *Kigelia africana* fruit and leaf meals. *Asian J. Adv. Res.*, 15: 18–21.
- Amaechina, F.C., Eledan, A.B. (2007). Central nervous system stimulant effect of the ethanolic extract of *Kigelia africana*. *J. Med. Plants Res.*, 2: 20–23.
- Arena, K., Rigano, F., Mangraviti, D., Cacciola, F., Occhiuto, F., Dugo, L., Dugo, P., Mondello, L. (2020). Exploration of Rapid Evaporative-Ionization Mass Spectrometry as a shotgun approach for the comprehensive characterization of *Kigelia africana* (Lam) Benth. *Fruit. Molecules*, 25: 962.
- Arkhipov, A., Sirdaarta, J., Rayan, P., McDonnell, P.A., Cock, I.E. (2014). An examination of the antibacterial, antifungal, anti-Giardial and anticancer properties of *Kigelia africana* fruit extracts. *Pharmacogn. Commun.*, 4: 62–76.
- Ashidi, J.S., Houghton, P.J., Hylands, P.J., Efferth, T. (2010). Ethnobotanical survey and cytotoxicity testing of plants of South-western Nigeria used to treat cancer, with isolation of cytotoxic constituents from *Cajanus cajan* Millsp. leaves. *J. Ethnopharmacol.*, 128: 501–512.
- Ashraf, M., Ayub, M., Sajjad, T., Elahi, N., Ali, I., Ahmed, Z. (2010). Replacement of rotenone by locally grown herbal extracts. *Int. J. Agric. Biol.*, 12: 77–80.
- Assanti, G., Kaur, R., Nizard, S., Pollack, E., Rafferty, B., Priano, C., Fernández Romero, J.A., Koroch, A. R. (2022). Biology, Chemistry, and Pharmacological Activity of *Kigelia africana* (Bignoniaceae) and *Garcinia kola* (Clusiaceae)-a Review. *J. Med. Act. Plants*, 11: 1–21.
- Atawodi, S.E.O., Olowoniyi, O.D. (2015). Pharmacological and therapeutic activities of *Kigelia africana* (Lam.) Benth. *Annu. Res. Rev. Biol.*, 5: 1–17.
- Atolani, O., Adeyemi, S.O., Akpan, E., Adeosun, C.B., Olatunji, G.A. (2011). Chemical composition and antioxidant potentials of *Kigelia pinnata* root oil and extracts. *Excli. J.*, 10: 264.



- Atolani, O., Olatunji, G.A., Adeyemi, O.S. (2021). Cytotoxicity of Lapachol and Derivatized Analogues from *Kigelia africana* (Lam.) Benth. on Cancer Cell Lines. *Arab. J. Sci. Eng.*, 46: 5307–5312.
- Atolani, O., Olatunji, G.A., Fabiyi, O.A., Adeniji, A.J., Ogbale, O.O. (2013). Phytochemicals from *Kigelia pinnata* leaves show antioxidant and anticancer potential on human cancer cell line. *J. Med. Food*, 16: 878–885.
- Awere, C.A., Githae, E.W., Gichumbi, J.M. (2021). Phytochemical analysis and antifungal activity of *Tithonia diversifolia* and *Kigelia africana* extracts against *Fusarium oxysporum* in tomato. *Afr. J. Agric. Res.*, 17: 726–732.
- Azu, O.O. (2013). The sausage plant (*Kigelia africana*): Have we finally discovered a male sperm booster? *J. Med. Plants Res.*, 7: 903–910.
- Azu, O.O., Francis, I., Abraham, A., Crescie, C., Stephen, O., Abayomi, O. (2010). Protective agent, *Kigelia Africana* fruit extract, against cisplatin-induced kidney oxidant injury in Sprague–Dawley rats. *Asian J. Pharma Clin. Res.*, 3: 84–8.
- Bello, I., Shehu, M.W., Musa, M., Asmawi, M.Z., Mahmud, R. (2016). *Kigelia africana* (Lam.) Benth. (Sausage tree): Phytochemistry and pharmacological review of a quintessential African traditional medicinal plant. *J. Ethnopharmacol.*, 189: 253–276.
- Bharti, N., Singh, S., Naqvi, F., Azam, A. (2006). Isolation and in vitro antimicrobial activity of iridoids isolated from *Kigelia pinnata*. *Arkivoc*, 10: 69–79.
- Binutu, O.A., Adesogan, K.E., Okogun, J.I. (1996). Antibacterial and antifungal compounds from *Kigelia pinnata*. *Planta Med.*, 62: 352–353.
- Biyela, B., Mohanlall, V. (2022). Biocatalytic and biological activities of *Kigelia africana* mediated silver monometallic and copper-silver bimetallic nanoparticles *Indian Journal of Biochemistry and Biophysics*, 59: 94–102.
- Carey, M.W., Rao, N.V., Kumar, B.R., Mohan, G.K. (2010). Anti-inflammatory and analgesic activities of methanolic extract of *Kigelia pinnata* DC flower. *J. Ethnopharmacol.*, 130: 179–182.
- Chivandi, E., Cave, E., Davidson, B.C., Erlwanger, K.H., Moyo, D., Madziva, M.T. (2012). Suppression of Caco-2 and HEK-293 cell proliferation by *Kigelia africana*, *Mimusops zeyheri* and *Ximenia caffra* seed oils. *In Vivo*, 26: 99–105.
- Dada, A.A., Adeparusi, E.O., Alale, O.V. (2010). Dietary dried *Kigelia africana* fruits meal as fertility enhancer in female *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Agric. Biol. JN. Am.*, 1: 791–795.
- Dassou, G.H., Adomou, A.C., Yédomonhan, H., Ogni, A.C., Tossou, G. M., Dougnon, J. T., Akoègninou, A. (2015). Flore médicinale utilisée dans le traitement des maladies et symptômes animaux au Bénin. *J. Anim. Plant Sci.*, 26: 4036–4057.
- Dassou, H.G., Ogni, C.A., Yédomonhan, H., Adomou, A.C., Tossou, M., Dougnon, J.T., Akoègninou, A. (2014). Diversité, usages vétérinaires et vulnérabilité des plantes médicinales au Nord-Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 8: 189–210.
- de Wet, H., Ngubane, S.C. (2014). Traditional herbal remedies used by women in a rural community in northern Maputaland (South Africa) for the treatment of gynaecology and obstetric complaints. *South Afr. J. Bot.*, 94: 129–139.
- Denou, A., Togola, A., Diakite, K., Ly, M., Haidara, M., Diallo, D., Sanogo, R. (2021). Investigation phytochimique et activité antitumorale de quatre plantes utilisées dans la prise en charge traditionnelle du cancer au Mali. *Pharmacopée Médecine Tradit. Afr.*, 20: 65–71.
- Dhungana, B.R., Jyothi, Y., Das, K. (2016). *Kigelia pinnata*: exploration of potential medicinal usage in human ailments. *J. Pharm. Res.*, 15: 138–146.
- Dos Santos, M. M., Olaleye, M. T., Ineu, R. P., Boligon, A.A., Athayde, M. L., Barbosa, N. B., Rocha, J.B.T. (2014). Antioxidant and antiulcer potential of aqueous leaf extract of *Kigelia africana* against ethanol-induced ulcer in rats. *Excli. J.*, 13: 323–330.
- Dossou-Yovo, H.O., Vodouhè, F.G., Kindomihou, V., Sinsin, B. (2022). Investigating the Use Profile of *Kigelia africana* (Lam.) Benth. through Market Survey in Benin. *Conservation*, 2: 275–285.
- Dossou-Yovo, H.O., Vodouhè, F.G., Kindomihou, V., Sinsin, B. (2020). Ethnobotanical Utilization of *Kigelia africana* (Lam.) Benth. according to Herbal Medicine Traders in Benin. *Res. Sq.*, 1: 1–11.
- Eldeen, I.M.S., Van Staden, J. (2007). *In vitro* pharmacological investigation of extracts from some trees used in Sudanese traditional medicine. *South Afr. J. Bot.*, 73: 435–440.
- Erhabor, R.C., Erhabor, J.O., Nkadameng, S.M., McGaw, L.J. (2022). *In vitro* antimicrobial, antibiofilm and antioxidant activities of six South African plants with efficacy against selected foodborne pathogens. *South Afr. J. Bot.*, 146: 643–652.
- Erinoso, S.M., Aworinde, D.O. (2012). Ethnobotanical survey of some medicinal plants used in traditional health care in Abeokuta areas of Ogun State, Nigeria. *Afr. J. Pharm. Pharmacol.*, 6: 1352–1362.
- Fagbohun, O.F., Olawoye, B., Ademakinwa, A.N., Oriyomi, O.V., Fagbohun, O.S., Fadare, O.A., Msagati, T.A.M. (2021). UHPLC/GC-TOF-MS metabolomics, MTT assay, and molecular docking studies reveal physostigmine as a new anticancer agent from the ethyl acetate and butanol fractions of *Kigelia africana* (Lam.) Benth. fruit extracts. *Biomed. Chromatogr.*, 35: 1–18.
- Fomogne-Fodjo, M.C.Y., Van Vuuren, S., Ndinteh, D.T., Krause, R.W.M., Olivier, D.K. (2014). Antibacterial activities of plants from Central Africa used traditionally by the Bakola pygmies for treating respiratory and tuberculosis-related symptoms. *J. Ethnopharmacol.*, 155: 123–131.
- Fredrick, A.C., Ebele, O.P., Chioma Obi, U.N.U. (2014). Analgesic, Phytochemical and Toxicological investigations of ethanol extract of the leaves of *Kigelia africana* (Lam.) Benth (family Bignoniaceae)-Sausage Tree. *J. Pharm. Biomed. Sci.*, 4: 588–595.
- Gauthaman, K., Adaikan, P.G., Prasad, R.N.V. (2002). Aphrodisiac properties of *Tribulus Terrestris* extract (Protodioscin) in normal and castrated rats. *Life Sci.*, 71: 1385–1396.
- Gomes, M.N., Fru, P., Augustine, T.N., Moyo, D., Chivandi, E., Daniels, W.M. (2022). Differential Expression of Platelet Activation Markers, CD62P and CD63, after Exposure to Breast Cancer Cells Treated with *Kigelia Africana*, *Ximenia Caffra* and *Mimusops Zeyheri* Seed Oils *In Vitro. Nutr. Cancer.*, 1: 1–16.
- Gouda, Y.G., Abdel-baky, A.M., Darwish, F.M., Mohamed, K.M., Kasai, R., Yamasaki, K. (2003). Iridoids from *Kigelia pinnata* DC. fruits. *Phytochemistry*, 63: 887–892.
- Grace, O.M., Light, M.E., Lindsey, K.L., Mulholland, D.A., Van Staden, J., Jager, A.K. (2002). Antibacterial activity and isolation of active compounds from fruit of the traditional African medicinal tree *Kigelia africana*. *South Afr. J. Bot.*, 68: 220–222.
- Guidigan, M.L.G., Azihou, F., Idohou, R., Okhimamhe, A.A., Fandohan, A.B., Sinsin, B., Adet, L. (2018). Modelling the current and future distribution of *Kigelia africana* under climate change in Benin, West Africa. *Model. Earth Syst. Environ.*, 4: 1225–1238.
- Halder, S., Sharma, A. (2017). A Review on *Kigelia africana*. *World. J. Pharm. Res.*, 6:389–411.
- Hamza, O.J., van den Bout-van, C.J., Matee, M.I., Moshi, M.J., Mikx, F.H., Selemani, H.O., Mbwambo, Z.H., Van der Ven, A.J., Verweij, P.E. (2006). Antifungal activity of some Tanzanian plants used traditionally for the treatment of fungal infections. *J. Ethnopharmacol.*, 108: 124–132.
- Houghton, P.J., Jäger, A.K. (2002). The sausage tree (*Kigelia pinnata*): ethnobotany and recent scientific work. *South Afr. J. Bot.*, 68: 14–20.
- Idris, A., Al-tahir, I., Idris, E. (2013). Antibacterial activity of endophytic fungi extracts from the medicinal plant *Kigelia africana*. *Egypt. Acad. J. Biol. Sci. G Microbiol.*, 5: 1–9.
- Isah, A.O., Idu, M., Abdulrahman, A.A., Amaechina, F. (2020). Evaluation of *in-vitro* vasorelaxant effect (potential antihypertensive) of *kigelia africana* fruit methanol extract on potassium chloride and phenylephrine induced tension in wistar rat aorta. *Fudma J. Sci.*, 4: 470–475.
- Iwaka, C., Azando, E.V.B., Hountondji, F.C.C., Worogo, H.S.S., Attakpa, E.Y., Olounlade, P.A., Hounzangbe-Adote, M.S., (2022). Medicinal plants of the African traditional pharmacopoeia in the management of bovine trypanosomiasis: A review. *J. Med. Plants Res.*, 16: 214–229.

- Jackson, S.J. (2021). Innovative Approaches to African Traditional Medicine in analysis of purity, quality and potency of new Phytopharmaceutical extracts. *Planta Med.*, 87: SL20.
- Jackson, S.J., Houghton, P.J., Retsas, S., Photiou, A. (2000). *In vitro* cytotoxicity of norviburtinal and isopinnatal from *Kigelia pinnata* against cancer cell lines. *Planta Med.*, 66: 758–761.
- Jeruto, P., Lukhoba, C., Ouma, G., Otieno, D., Mutai, C. (2008). An ethnobotanical study of medicinal plants used by the Nandi people in Kenya. *J. Ethnopharmacol.*, 116: 370–376.
- Kamau, J.K., Nthiga, P. M., Safari, V.C., Njagi, S.M., Mwonjoria, J.K., Ngugi, P., Ngeranwa, J.J.N. (2016). Antipyretic Properties of Methanol Stem Bark Extracts of *Acacia hockii* De Wil d and *Kigelia africana* (Lam) Benth in Wistar Rats. *J. Pharmacogn. Nat. Prod.*, 2: 2472-0992.
- Kareru, P.G., Kenji, G.M., Gachanja, A.N., Keriko, J.M., Mungai, G. (2007). Traditional medicines among the Embu and Mbeere people of Kenya. *Afr. J. Tradit. Complement. Altern. Med.* 4: 75–86.
- Koman, R.S., Kpan Wokapeu, B., Konan, Y.A.O., Ouattara, D. (2019). Plantes utilisées dans le traitement traditionnel de l'infertilité féminine dans le département de Dabakala (Côte d'Ivoire). *J. Anim. Plant Sci.*, 42: 7086–7099.
- Kumar, S., Kumar, V., Prakash, O.M. (2012). Antidiabetic and hypolipidemic activities of *Kigelia pinnata* flowers extract in streptozotocin induced diabetic rats. *Asian Pac. J. Trop. Biomed.*, 2: 543–546.
- Lamorde, M., Tabuti, J.R., Obua, C., Kukunda-Byobona, C., Lanyero, H., Byakika-Kibwika, P., Bbosa, G.S., Lubega, A., Ogwal-Okeng, J., Ryan, M. (2010). Medicinal plants used by traditional medicine practitioners for the treatment of HIV/AIDS and related conditions in Uganda. *J. Ethnopharmacol.*, 130: 43–53.
- Lawin, I.F., Laleye, O.A.F., Agbani, O.P. (2016). Vulnérabilité et stratégies endogènes de conservation des plantes utilisées dans le traitement du diabète dans les communes de Glazoué et Savè au Centre-Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10: 1069–1085.
- Maregesi, S.M., Pieters, L., Ngassapa, O.D., Apers, S., Vingerhoets, R., Cos, P., Berghe, D. A.V., Vlietinck, A.J. (2008). Screening of some Tanzanian medicinal plants from Bunda district for antibacterial, antifungal and antiviral activities. *J. Ethnopharmacol.*, 119: 58–66.
- Matowa, P.R., Gundidza, M., Gwanzura, L., Nhachi, C.F. (2020). A survey of ethnomedicinal plants used to treat cancer by traditional medicine practitioners in Zimbabwe. *BMC Complement. Med. Ther.*, 20: 1–13.
- Mohammed, I., Dompok, D., Duah-Gyamfi, A., Brobbey, L.K., Boakye, E.A. (2022). Post-exploitation bark recovery rates of some medicinal tree species in Ghana. *Trees For. People*, 100268.
- Moideen, S.V.K., Houghton, P.J., Rock, P., Croft, S.L., Aboagyeyame, F. (1999). Activity of extracts and naphthoquinones from *Kigelia pinnata* against *Trypanosoma brucei brucei* and *Trypanosoma brucei rhodesiense*. *Planta Med.*, 65: 536–540.
- Moronkola, D.O., Olaoluwa, O.O., Oladosu, I.A., Aboaba, S.A., Aiyelaagbe, O.O. (2018). Phytochemical and Antimicrobial Activities of Extracts from Six Medicinal Plants Utilized as Antimalarials in Ethno-Medicine. *Pharm. Chem. J.*, 5: 52–61.
- Mukavi, J.W., Mayeku, P.W., Nyaga, J.M., Kituyi, S.N. (2020). *In vitro* anti-cancer efficacy and phyto-chemical screening of solvent extracts of *Kigelia africana* (Lam.) Benth. *Heliyon*, 6: e04481.
- Musa, M.S., Abdelrasool, F.E., Elsheikh, E.A., Ahmed, L.A., Mahmoud, A.L.E., Yagi, S.M. (2011). Ethnobotanical study of medicinal plants in the Blue Nile State, South-eastern Sudan. *J. Med. Plants Res.*, 5: 4287–4297.
- Muthaura, C.N., Rukunga, G.M., Chhabra, S.C., Mungai, G.M., Njagi, E.N.M. (2007). Traditional phytotherapy of some remedies used in treatment of malaria in Meru district of Kenya. *South Afr. J. Bot.*, 73:402–411.
- Nabatanzi, A., Nkadimeng, S.M., Lall, N., Kabasa, J.D., McGaw, L.J. (2020a). Ethnobotany, phytochemistry and pharmacological activity of *Kigelia africana* (Lam.) Benth. (Bignoniaceae). *Plants*, 9: 1-35.
- Nabatanzi, A., Nkadimeng, S.M., Lall, N., Kabasa, J.D., McGaw, L.J. (2020b). Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of *Kigelia africana* (Lam.) Benth. *Evid. Based Complement. Alternat. Med.*, 2020: 1–11.
- Njogu, S.M., Arika, W.M., Machocho, A.K., Ngeranwa, J.J., Njagi, E.N. (2018). *In vivo* hypoglycemic effect of *Kigelia africana* (Lam): studies with alloxan-induced diabetic mice. *J. Evid.-Based Integr. Med.*, 23: 1–10.
- Nyarko, A.K., Okine, L.K.N., Wedzi, R.K., Addo, P.A., Ofosuhen, M. (2005). Subchronic toxicity studies of the antidiabetic herbal preparation ADD-199 in the rat: absence of organ toxicity and modulation of cytochrome P450. *J. Ethnopharmacol.*, 97: 319–325.
- Obianagha, N.F., Okafor, C.J., Chukwuani, U., Ogundahunsi, O.A., Ogbonna, S.O., Obeagu, E.I., Haji, H.T., Said, O.H. (2021). Evaluation of the Phytochemical Constituents of Extracts of *Kigelia africana* Fruit and *Sorghum bicolor*, Stalk in Lagos Nigeria. *J. Pharm. Res. Int.*, 33: 49–58.
- Ogni, C.A., Kpodekon, M.T., Dassou, H.G., Boko, C.K., Koutinhouin, B.G., Dougnon, J.T., Youssao, A.K.I., Yedomonhan, H., Akoegninou, A. (2014). Inventaire ethno-pharmacologique des plantes utilisées dans le traitement des pathologies parasitaires dans les élevages extensifs et semi-intensifs du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 8: 1089.
- Olaleye, M.T., Rocha, B.T.J. (2008). Acetaminophen-induced liver damage in mice: Effects of some medicinal plants on the oxidative defense system. *Exp. Toxicol. Pathol.*, 59: 319–327.
- Olatunji, A.G., Atolani, O. (2009). Comprehensive scientific demystification of *Kigelia africana*: A review. *Afr. J. Pure Appl. Chem.*, 3: 158–164.
- Onegi, B., Kraft, C., Köhler, I., Freund, M., Jenett-Siems, K., Siems, K., Beyer, G., Melzig, M.F., Bienzle, U., Eich, E. (2002). Antiplasmodial activity of naphthoquinones and one anthraquinone from *Stereospermum kunthianum*. *Phytochemistry*, 60: 39–44.
- Orole, R.T., Orole, O.O., Adejumo, T.O. (2013). Antiulcerogenic activity of *Kigelia africana*, *Nauclea latifolia* and *Staudtia stipitata* on induce ulcer in albino rats. *European Journal of Medicinal Plants*, 3:577–590.
- Otimenyin, S.O., Uzochukwu, D.C. (2012). Spasmolytic and antidiarrhea effects of the bark of *Erythrina senegalensis* and root of *Kigelia Africana*. *Asian J. Pharm. Clin. Res.*, 3: 11–4.
- Owolabi, O.J., Nworgu, Z.A.M. (2009). Anti-inflammatory and anti-nociceptive activities of *Costus lucanusianus* (Costaceae). *Pharmacology online*, 1: 1230–1238.
- Owolabi, O.J., Omogbai, E.K. (2007). Analgesic and anti-inflammatory activities of the ethanolic stem bark extract of *Kigelia africana* (Bignoniaceae). *Afr. J. Biotechnol.*, 6: 582–585.
- Oyelami, O.A., Yusuf, K.O., Oyelami, A.O. (2012). The use of *Kigelia africana* in the management of polycystic ovary syndrome (PCOS), 3: 1–3.
- Plengsuriyakarn, T., Viyanant, V., Eursitthichai, V., Picha, P., Kupradinun, P., Itharat, A., Na-Bangchang, K. (2012). Anticancer activities against cholangiocarcinoma, toxicity and pharmacological activities of Thai medicinal plants in animal models. *BMC Complement. Altern. Med.*, 12: 19.
- Priya, B., Gahlot, M., Joshi, P. (2014). Screening of anti-hyperglycemic activity of *Kigelia africana* on alloxan-induced diabetic rats. *Indian J. Appl. Res.*, 4: 448–451.
- Sainadh, N.S., Pkm, N., Kulkarni S.C. (2013). Evaluation of Anti-Cancer Activity of *Kigelia africana* on EAC Induced Breast Tumors. *J. Pharm. Pharm. Sci.*, 2: 78–84.
- Saini, S., Kaur, H., Verma, B., Singh, S.K. (2009). *Kigelia africana* (Lam.) Benth. An overview. *Nat. Prod. Radiance*, 8: 190-197.
- Santoro, A., Bianco, G., Picerno, P., Aquino, R. P., Autore, G., Marzocco, S., Gaggero, P., Lioi, M.B., Bifulco, M. (2008). Verminoside and verbasoside-induced genotoxicity on human lymphocytes: involvement of PARP-1 and p53 proteins. *Toxicol. Lett.*, 178: 71–76.
- Setshogo, M.P., Mberek, C.M. (2011). Floristic diversity and uses of medicinal plants sold by street vendors in Gaborone, Botswana. *Afr. J. Plant Sci. Biotechnol.*, 5: 69-74
- Shama, S., Adam, I.Y., Marwa, M., Alhameed, I.A. (2013). *Kigelia africana* fruits' extracts anti hepato-toxic effects on male wistar rats liver destruction induced by CCL4. *Asian J. Med. Sci.*, 5: 26–32.

- Sharma, K.K., Pareek, P.K., Raja, A.S.M., Temani, P., Kumar, A., Shakyawar, D.B., Sharma, M.C. (2013). Extraction of natural dye from *Kigelia pinnata* and its application on pashmina (cashmere) fabric. *Res. J. Text. Appar.*, 17: 28-32.
- Sharma, U.K., Singh, A., Sharma, U., Kumar, M., Rai, D., Agrahari, P. (2010). Wound healing activity of *Kigelia pinnata* bark extract. *Asian J. Pharm. Clin. Res.*, 3: 73-5.
- Siddiqui, K., Mazumder, A., Chakraborty, G. (2015). A review on phytopharmacological profile of *Kigelia pinnata* (Jacq.). *Int. J. Pharma Res. Rev.*, 4: 34-8.
- Sidjui, L.C., Toghueo, R.M.K., Zeuko'o, E.M., Mbouna, C.D.J., Mahiou-Leddé, V., Herbette, G., Folefoc, G.N. (2016). Antibacterial activity of the crude extracts, fractions and compounds from the stem barks of *Jacaranda mimosifolia* and *Kigelia africana* (Bignoniaceae). *Pharmacologia*, 7: 22-31.
- Sidjui, L.S., Melong, R., Mahiou-Leddé, V., Herbette, G., Tchinda, A.T., Ollivier, E., Folefoc, G.N. (2015). Triterpenes and lignans from *Kigelia africana*. *J. Appl. Pharm. Sci.*, 5: 1-6.
- Sidjui, L.S., Zeuko'o, E.M., Toghueo, R.M., Noté, O.P., Mahiou-Leddé, V., Herbette, G., Fekam, F.B., Ollivier, E., Folefoc, G.N. (2014). Secondary metabolites from *Jacaranda mimosifolia* and *Kigelia africana* (Bignoniaceae) and their anticandidal activity. *Rec. Nat. Prod.*, 8: 307-311.
- Singh, A., Kumari, S., Singh, A.K., Singh, N.K. (2018). Ethnopharmacology and pharmacology of *Kigelia africana* (Lam.) Benth. *Int. J. Green Pharm.*, 11: S23-S31.
- Telefo, P.B., Lienou, L.L., Yemele, M.D., Lemfack, M.C., Mouokeu, C., Goka, C. S., Tagne, S.R., Moundipa, F.P. (2011). Ethnopharmacological survey of plants used for the treatment of female infertility in Baham, Cameroon. *J. Ethnopharmacol.*, 136: 178-187.
- Tembo, N., Lampiao, F., Mwakikunga, A., Chikowe, I. (2021). Ethnobotanical survey of medicinal plants used for cervical cancer management in Zomba District, Malawi. *Sci. Afr.*, 13: e00941.
- Tyagi, A., Singh, V., Bharadwaj, M., Kumar, A., Thakur, K. (2011). Isolation and antibacterial susceptibility testing of multi drug resistant *Pseudomonas aeruginosa* causing urinary tract infections. *J. Chem. Pharm. Res.*, 3: 342-347.
- Zofou, D., Kengne, A.B.O., Tene, M., Ngemenya, M.N., Tane, P., Titanji, V.P. (2011). *In vitro* antiplasmodial activity and cytotoxicity of crude extracts and compounds from the stem bark of *Kigelia africana* (Lam.) Benth (Bignoniaceae). *Parasitol. Res.*, 108: 1383-1390.
- Zofou, D., Tene, M., Tane, P., Titanji, V.P. (2012). Antimalarial drug interactions of compounds isolated from *Kigelia africana* (Bignoniaceae) and their synergism with artemether, against the multidrug-resistant W2mef *Plasmodium falciparum* strain. *Parasitol. Res.*, 110: 539-544.
- Zorn, B., García-Piñeres, A.J., Castro, V., Murillo, R., Mora, G., Merfort, I. (2001). 3-Desoxyanthocyanidins from *Arrabidaea chica*. *Phytochemistry*, 56: 831-835.

# Diversité des abeilles sauvages de la Réserve de Biosphère de Luki (RD Congo)

T. BAKAMBANA<sup>1</sup>, J. LUMANDE<sup>1</sup>, J. PUNGA<sup>1</sup>, E. BUKAKA<sup>1</sup>, H. LUKOKI<sup>1</sup>, J. NAGAHUEDI<sup>1</sup>

(Reçu le 12/10/2022; Accepté le 18/11/2022)

## Résumé

Les abeilles sont les pollinisateurs les plus nombreux de la plupart des cultures et des plantes sauvages, leur état actuel de connaissance en RDC s'avère très fragmentaire. En vue d'actualiser les connaissances dans ce domaine, il a paru nécessaire de réaliser une étude avec comme objectif d'inventorier et d'évaluer la diversité d'abeille sauvages dans la Réserve de Biosphère de Luki, précisément dans la zone de transition. Au moyen des pièges coupelles et des filets entomologiques, les abeilles ont été échantillonnées durant 4 ans (2017, 2018, 2020 et 2021). Un total de 4843 individus a été capturé rattachés à 41 espèces, 3 familles et 5 sous familles. Après analyse, il se dégage que 3 familles ont été recensées avec prédominance de la famille des Apidae (4307 individus, 88,9 %), suivie de celle des Megachilidae (444 individus, 9,16 %). À l'échelle spécifique, *Apis mellifera* a enregistré la plus forte abondance avec 2584 individus, soit 53,4 %, suivie de *Dactylurina staudingeri* avec 508 individus soit 10,5 %. En termes d'occurrence, les assemblages Apoïdae sont dominés par des espèces très communes avec 19 espèces. En outre, la saison des pluies avait une influence significative sur l'abondance des abeilles sauvages dans la Réserve de Biosphère de Luki.

**Mots clés:** Biodiversité, Réserve de Biosphère de Luki, Abeilles, pollinisateur

## Diversity of wild bees in the Luki Biosphere Reserve (DR Congo)

### Abstract

Bees are the most numerous pollinators of most crops and wild plants, their current state of knowledge in the DRC is very fragmentary. In order to update knowledge in this area, it seemed necessary to carry out a study with the aim of inventorying and evaluating the diversity of wild bees in the Luki Biosphere Reserve precisely in the transition zone. Using cup traps and entomological nets, the bees were sampled for 4 years (2017, 2018, 2020 and 2021). A total of 4843 individuals were caught belonging to 41 species, 3 families and 5 subfamilies. After analysis, it emerges that 3 families have been identified with predominance of the family Apidae (4307 individuals, 88.9 %), followed by that of Megachilidae (444 individuals, 9.16 %). On a specific scale, *Apis mellifera* recorded the highest abundance with 2584 individuals, or 53.4 %, followed by *Dactylurina staudingeri* with 508 individuals or 10.5 %. In terms of occurrence, apoïdae assemblages are dominated by very common species with 19 species. In addition, the rainy season had a significant influence on the abundance of wild bees in the Luki Biosphere Reserve.

**Keywords:** Biodiversity, Luki Biosphere Reserve, Bees, pollinator

## INTRODUCTION

Les abeilles, sont les pollinisateurs les plus nombreux de la plupart des cultures et des plantes sauvages, elles comptent plus de 20 000 espèces dans le monde appartenant à plusieurs dizaines de familles, comprenant des abeilles sauvages et une seule espèce d'abeille domestique (Potts *et al.*, 2010; Pfiffner et Müller, 2016). L'état actuel de connaissance de la diversité des principaux insectes pollinisateurs, dont les abeilles sauvages en République Démocratique du Congo demeurent fragmentaires, avec quelques études à Kinshasa, Kongo-Central et Kisangani (Bukaka, 2011; Lokolo, 2011; Nzundu, 2014; Lukoki *et al.*, 2020).

Depuis plusieurs décennies, nous assistons à une régression notable des populations d'insectes pollinisateurs en général et de l'abeille en particulier (Steffan-Dewenter *et al.*, 2005; Rasmont *et al.*, 2006; Haubruge *et al.*, 2006). En effet, les causes de cette régression sont multiples et parfois individuelles. Ainsi, ces causes se classent en deux grandes catégories: les facteurs naturels et les facteurs environnementaux ou humains (Vanbergen et Garratt, 2013; Fabrice et Le Féon, 2016). Cependant, une mortalité accrue des colonies d'abeilles a été signalé dans tous les continents au cours de ces dernières décennies (Reza, 2009). En 2006, le terme de «syndrome d'effondrement des colonies» (CDC: Colony Collapse Disorder) a fait son apparition, décrivant ce phénomène inexplicable et de grande ampleur (Ballis, 2013). Ce syndrome a conduit à la fragilisation du cheptel apicole mondial (Haubruge *et al.*, 2006; Ballis, 2013; Oldroyd, 2007; Reza, 2009)

Ce déclin entraîne plusieurs répercussions entre autre, la diminution de la production agricole, et par suite, une augmentation des prix agricoles (INP, 2011). Ainsi, le contrôle de cette situation ne pourra se faire qu'au prix d'une connaissance sur ces principaux pollinisateurs. En raison de l'importance économique des plantes cultivées et de l'état actuel de connaissance des principaux insectes pollinisateurs, dont les abeilles sauvages, il nous a paru nécessaire de mener une étude sur ces pollinisateurs dans le Kongo Central, particulièrement dans la zone de transition de la Réserve de Biosphère de Luki. Ainsi donc, le présent travail a visé l'objectif de déterminer la diversité spécifique des abeilles sauvages afin d'actualiser leur connaissance dans la faune entomologique de la République Démocratique du Congo.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Milieu d'étude

La Réserve de Biosphère de Luki située à l'ouest de la République Démocratique du Congo, au sud-est du Mayombe, dans la province du Kongo-Central constitue notre milieu d'étude. Elle a une superficie de 33 000 ha, et s'étend sur les latitudes 5°30' -5°45'S, et les longitudes 13°7' -13°45'E. Elle est en outre située à 120 km environ à l'Est de la côte atlantique et à 30 km au Nord de la ville portuaire de Boma et 125 km de la ville de Matadi. Elle s'étend sur trois (3) zones administratives: Seke-Banza, Lukula et Moanda.

<sup>1</sup> Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, RDC

Comme les autres aires protégées, la Réserve fut organisée en trois zones classiques (Figure 1), à savoir: Une aire centrale (11.931 ha), à protection intégrale; Une zone tampon (20.783 ha), dans laquelle se situent les enclaves villageoises, la station MAB/INERA et les sites d'interventions forestiers (Blocs d'expérimentation UB et UH); et Une zone de transition où sont exercées les activités des paysans riverains.

### Méthode d'échantillonnage

Les abeilles ont été capturées durant 4 ans précisément en 2017, 2018, 2019 et 2021 dans la Réserve de Biosphère de Luki précisément dans la zone de transition et dans 3 habitats différents (forêt, savane et culture). Ainsi, pour chaque année, 4 sorties ont été réalisées en raison de deux sorties par saison. Cependant, les visites démarraient de 9h00 à 16h00. Cet intervalle est fixé pour couvrir au maximum les heures de pics d'activité des pollinisateurs (Geroff *et al.*, 2014; Gezon *et al.*, 2015; Fijen et Kleijn, 2017).

Pour capturer ces abeilles, deux méthodes d'échantillonnage, dites «active» et «passive», sont mises en place. Il nous a été préférable de coupler les deux méthodes pour une évaluation complète de la richesse spécifique, afin de limiter le biais observateur de la méthode au filet et le faible taux de capture de certaines abeilles (Westphal *et al.*, 2008; Nielsen *et al.*, 2012).

La première méthode «active» a consisté à parcourir les six transects décrits au dispositif expérimental (Figure 2) avec un filet entomologique mesurant 35 cm de diamètre, environ 1 m de manche en bois et une poche d'environ 50 cm de profondeur. Cette technique permet d'enregis-

trer les interactions plantes-pollinisateurs en récoltant les individus en train de butiner. La capture au filet a comme avantage de pouvoir capturer les grosses espèces d'abeilles sauvages peu présentes dans les coupelles mais dépend fortement de l'expérience du récolteur.

La deuxième méthode «passive», a consisté à placer 12 jeux des coupelles rondes en plastique de trois couleurs (jaune, blanche et bleue) de 16 cm de diamètre et de 5 cm de hauteur. Les abeilles sont attirées par les couleurs reflétant les ultra-violets et ces trois couleurs maximisent les possibilités de capturer une grande gamme de pollinisateurs (Westphal *et al.*, 2008; Heneberg et Bogusch, 2014).

Avant de poser les pièges, chaque coupelle est remplie avec de l'eau savonnée inodore pour ne pas biaiser l'attractivité des coupelles. Le savon permet de diminuer la tension de surface de l'eau et donc de faire en sorte que les abeilles ne puissent pas en ressortir (Westphal *et al.*, 2008). La solution savonneuse permet quant à elle de rompre la tension de surface et d'enrober l'insecte pour qu'il tombe au fond de la coupelle (Roulston *et al.*, 2007). La combinaison des deux types de capture fournit une complémentarité qui permet de couvrir un large spectre d'espèces présentes sur le site (Westphal *et al.*, 2008).

### Dispositif expérimental

Dans chaque parcelle sélectionnée aléatoirement en fonction de la disponibilité de plantes à fleur, l'ensemble de ces techniques ont été installées sur base du dispositif présenté à la figure 3. Ainsi, six transects ont été définis et sur ces transects, les coupelles ont été installées séparées de 10 m d'intervalle dans les 1<sup>er</sup>, 3<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> transects. Et les captures au

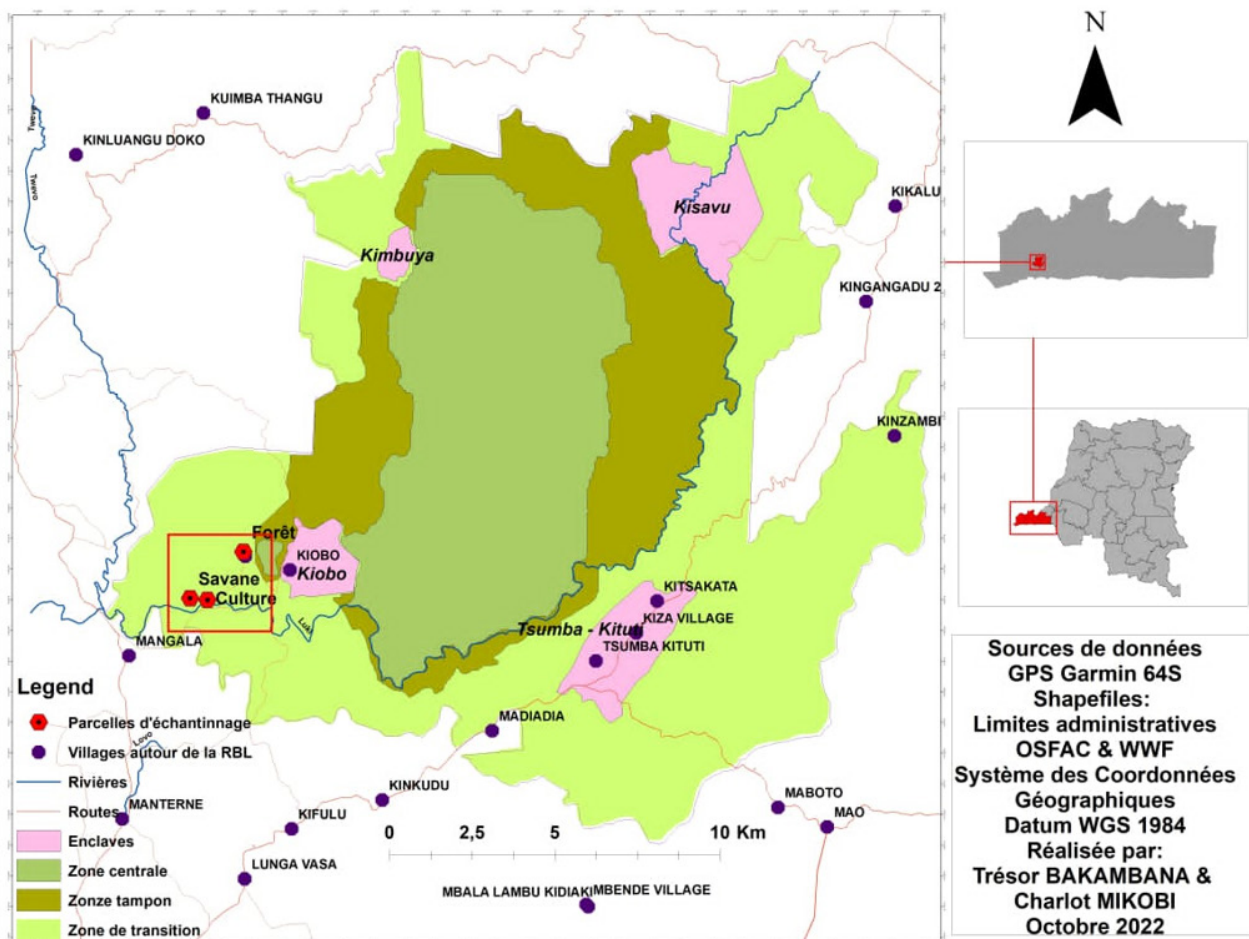


Figure 1: Carte de la localisation de la zone d'études

filet ont été réalisées le long de trois autres transects (2<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup>) adjacents aux trois premiers afin de ne pas perturber la communauté échantillonnée par la technique précédente.

### Conservation et identification

Les abeilles capturées sont conservées dans l'alcool à 70 % contenu dans une fiole (flacon) et acheminés au laboratoire. Une fois au laboratoire, ces dernières ont subi un lavage et ont été plus tard étalés à l'aide des épingles entomologiques dans des boîtes entomologiques pour faciliter l'identification. Celle-ci a été faite à l'aide du catalogue des abeilles de la région afrotropicale (Eardly et Urban, 2010). Elle a ensuite été complétée en se basant sur des caractères morphologiques décrits dans différentes clés de systématique entomologique rencontrées en RDC et en Afrique (Pauly et Vereecken, 2013; Pauly, 2015; Pauly, 2016a; Pauly, 2016b; Pauly, 2017).

### Analyse des données

#### Abondance et occurrence

**L'abondance relative (AR):** Elle représente le rapport entre le nombre d'individus ( $n_i$ ) d'une espèce et le nombre d'individus total ( $N$ ) (Magurran, 2004). Elle est calculée par la formule suivante:

$$A. R. (\%) = \frac{n_i \times 100}{N}$$

**La fréquence d'occurrence (Occ):** Elle a été calculée pour chaque espèce et quatre classes d'espèces sont distinguées: (i) espèces très accidentelles (Vac), dont la fréquence d'occurrence est moins de 10%, (ii) espèces accidentelles (Acc), la fréquence d'occurrence varie entre 10 et 24 %, (iii) espèces communes (Cmt), présentes dans 25-49 % des relevés, (iv) espèces constantes (Cst) présentes dans 50 % des relevés ou plus (Bigot et Bodot, 1973).



Figure 2: Capture des abeilles par filet entomologique et coupelles (Bakambana, 2021)

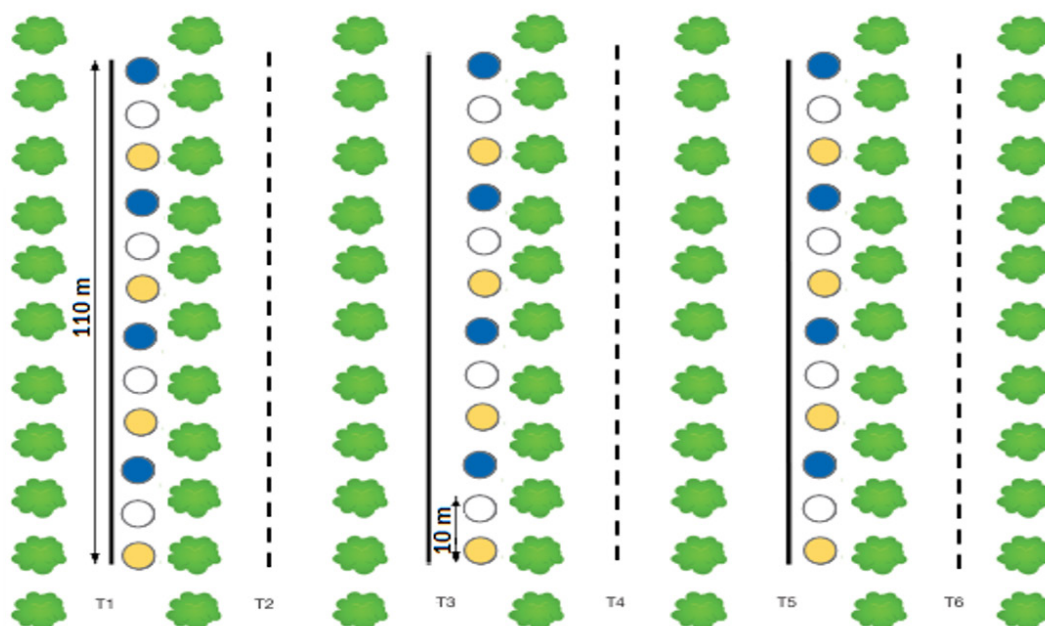


Figure 3: Les transects sont identifiés par des numéros (de T1 à T6). La capture par piège en coupelles colorées est réalisée sur les transects schématisés en traits pleins, tandis que la capture par filet sur les transects restants

**Diversité alpha**

**Indice de Shannon-Wiener:** Permet de quantifier l'hétérogénéité de la biodiversité d'un milieu et d'observer son évolution au cours du temps (Blondel, 1979). Il est calculé par la formule suivant:

$$pi = \frac{ni}{N} \quad H' = - \sum_{i=1}^s pi(\log_2 pi)$$

Avec: *ni* =le nombre d'individus dans le premier groupe taxonomique; *N*=le nombre d'individus dans la station.

**Indice de Simpson:** Il est essentiellement lié aux variations d'abondance entre espèces dominantes (Marcon, 2010). Il est calculé par la formule suivant:

$$D = \frac{\sum Ni * (Ni - 1)}{N * (N - 1)}$$

Avec: *Ni* =nombre d'individus de l'espèce donnée; *N* =nombre total d'individus.

**Indice d'Equitabilité de Piélou (E):** Permet d'estimer la répartition des espèces au sein des relevés en évaluant la proportion des espèces dominantes et dominées (Marcon, 2010). Il est calculé par la formule suivante:

$$E = \frac{H'}{\log_2 S}$$

Avec: *H'*= Indice de Shannon; *S*= richesse spécifique

**Richesse spécifique (S):** Correspond au nombre total d'espèces que comporte le peuplement considéré effectivement présentes sur un site d'étude et à un moment donné (Hammer *et al.*, 2001).

**Diversité bêta**

**(i) Indice de similarité:** Indice de similarité de Jaccards (*β<sub>jac</sub>*) est donné par la formule suivante: *β<sub>jac</sub>* = *c* / (*a* + *b* - *c*), où *c* est le nombre d'espèces communes, *a* est le nombre d'espèces dans la station 1, et *b* est le nombre d'espèces dans la station 2 (De Bello *et al.*, 2007).

**(ii) Groupement et ordination:** Après avoir étudié si les communautés d'abeilles sont similaires ou pas, nous avons cherché à voir lesquelles sont les plus proches ou les plus éloignées en termes de composition d'espèces en fonction des années. Pour atteindre ce but, des matrices de distances basées sur la méthode de groupe apparié Euclidien (UPGMA) sont établies pour obtenir des groupements. Les groupements ont été réalisés avec le logiciel Past.

**(iii) Répartition spatiale des individus:** Permet de déterminer la configuration spatiale des individus. Nous avons la répartition régulière (ou distribution binomiale positive), lorsque *I* < 1; la répartition aléatoire (ou distribution de poisson), lorsque *I* = 1 et la répartition agrégative (ou distribution binomiale négative) *I* > 1. (Canard et Poinot, 2004). Elle est calculée par la formule suivant:

$$I = \frac{S^2}{\bar{x}}$$

Avec: *S*<sup>2</sup>=variance et *x*=moyenne

**Analyse statistique**

Les données ont été saisies en utilisant le logiciel Microsoft Excel 2016. Ces données ont été importées vers le logiciel R, Past, et Origin pour la réalisation des figures. Le test de student et ANOVA ont été réalisés au seuil de signification de 5%.

**RÉSULTATS**

**Inventaire et composition de l'Apidofaune**

Les résultats révélant l'ensemble des espèces collectées sont consignés dans le tableau 1.

Un total de 41 espèces rattachées à 3 familles et 5 sous-familles est inventorié dans la zone d'étude (Tableau 1). La famille des Apidae s'avère la plus riche en espèces (20 espèces, 48,8 % de la richesse totale), suivie par Megachilidae, avec 12 espèces (29,3%). Le nombre d'espèces de la famille restante est de 9 espèces, soit (21,9%) (Figure 4).

**Tableau 1: Liste systématique des espèces inventoriées (F: forêts, C: culture, S: savane), (+) présence, (-) absence)**

Famille	Sous famille	Espèce	F	C	S		
Apidae	Apinae	<i>Amegilla sp1</i>	-	-	+		
		<i>Amegilla sp2</i>	-	-	+		
		<i>Amegilla sp3</i>	-	-	+		
		<i>Apis mellifera</i>	+	+	+		
		<i>Dactylurina staudingeri</i>	-	-	+		
		<i>Meliponula nebulata</i>	-	-	+		
		<i>Meliponula sp1</i>	-	-	+		
		<i>Meliponula sp2</i>	-	-	+		
		<i>Meliponula sp3</i>	-	-	+		
		Xylocopinae		<i>Ceratina sp1</i>	+	-	+
				<i>Ceratina sp2</i>	-	-	+
				<i>Xylocopa albiceps</i>	-	+	+
				<i>Xylocopa bouyssoui</i>	+	-	+
<i>Xylocopa calcarata</i>	-			-	+		
<i>Xylocopa hottentotta</i>	-			-	+		
<i>Xylocopa imitator</i>	-			-	+		
<i>Xylocopa nigrita</i>	+			+	+		
<i>Xylocopa olivacea</i>	-			+	+		
Halictidae	Halictinae	<i>Lasioglossum sp1</i>	+	-	+		
		<i>Lasioglossum sp2</i>	-	-	+		
		<i>Lasioglossum sp3</i>	-	+	-		
		<i>Leuconomia candida</i>	-	+	-		
		<i>Patellapis sp1</i>	-	-	+		
		<i>Patellapis sp2</i>	-	-	+		
		<i>Patellapis sp3</i>	-	-	+		
		Nomiinae		<i>Crocisaspida chandleri</i>	+	+	+
				<i>Nomia sp1</i>	-	-	+
		Megachilidae	Megachilinae	<i>Anthidium oblongatum</i>	-	-	+
				<i>Anthidium sp1</i>	+	-	+
<i>Euasps abdominalis</i>	-			-	+		
<i>Megachile bangana</i>	-			-	+		
<i>Megachile biseta</i>	-			-	+		
<i>Megachile bituberculata</i>	+			+	+		
<i>Megachile bouyssoui</i>	-			-	+		
<i>Megachile brochidens</i>	-			-	+		
<i>Megachile bucephala</i>	-			-	+		
<i>Megachile cincta</i>	-			-	+		
<i>Megachile curtulaker</i>	-			-	+		
<i>Megachile eurymera</i>	-			-	+		
Total		41	9	9	39		

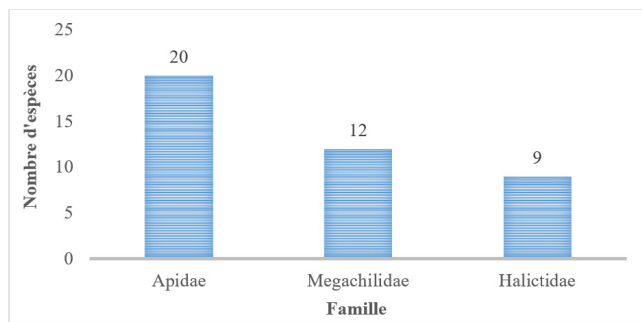


Figure 4: Répartition globale de la richesse spécifique par famille dans la zone d'étude

## Évaluation de la biodiversité

### Abondance et occurrence

Les résultats relatifs à l'abondance et la fréquence d'occurrence des espèces sont consignés au tableau 2.

Tableau 2: Abondance absolue (AA), Abondance relative (AR %) et Occurrence (Occ%) des espèces récoltées dans la Réserve de Biosphère de Luki

(Vac: espèce très accidentelle, Acc: espèce accidentelle, Cst: espèce constante, Cmt: espèce commune)

Espèces	AA	AR (%)	Occ (%)	Classe
<i>Amegilla sp1</i>	31	0,64	56,2	Cst
<i>Amegilla sp2</i>	29	0,60	25,0	Cmt
<i>Amegilla sp3</i>	50	1,03	43,7	Cmt
<i>Anthidium oblongatum</i>	50	1,03	56,2	Cst
<i>Anthidium sp1</i>	42	0,87	43,7	Cmt
<i>Apis mellifera</i>	2584	53,4	100,0	Cst
<i>Ceratina sp1</i>	77	1,59	31,2	Cmt
<i>Ceratina sp2</i>	17	0,35	25,0	Cmt
<i>Crocisaspidia chandleri</i>	8	0,17	25,0	Cmt
<i>Dactylurina staudingeri</i>	508	10,5	100,0	Cst
<i>Euaspis abdominalis</i>	9	0,19	31,2	Cmt
<i>Lasioglossum sp1</i>	22	0,45	31,2	Cmt
<i>Lasioglossum sp2</i>	3	0,06	6,25	Vac
<i>Lasioglossum sp3</i>	1	0,02	6,25	Vac
<i>Leuconomia candida</i>	1	0,02	6,25	Vac
<i>Megachile bangana</i>	7	0,14	31,2	Cmt
<i>Megachile biseta</i>	12	0,25	12,5	Acc
<i>Megachile bituberculata</i>	259	5,35	68,7	Cst
<i>Megachile bouyssoui</i>	18	0,37	25,0	Cmt
<i>Megachile brochidens</i>	5	0,10	12,5	Acc
<i>Megachile bucephala</i>	13	0,27	25,0	Cmt
<i>Megachile cincta</i>	1	0,02	6,2	Vac
<i>Megachile curtula</i>	5	0,10	6,25	Vac
<i>Megachile eurymera</i>	23	0,47	18,7	Acc
<i>Meliponula nebulata</i>	500	10,3	75,0	Cst
<i>Meliponula sp1</i>	228	4,71	50,0	Cst
<i>Meliponula sp2</i>	5	0,10	25,0	Cmt
<i>Meliponula sp3</i>	9	0,19	18,7	Acc
<i>Nomia sp1</i>	1	0,02	6,25	Vac
<i>Patellapis sp1</i>	40	0,83	31,2	Cmt
<i>Patellapis sp2</i>	9	0,19	18,7	Acc
<i>Patellapis sp3</i>	7	0,14	6,25	Vac
<i>Xylocopa albiceps</i>	48	0,99	43,7	Cmt
<i>Xylocopa bouyssoui</i>	6	0,12	25,0	Cmt
<i>Xylocopa calcarata</i>	7	0,14	25,0	Cmt
<i>Xylocopa hottentotta</i>	13	0,27	12,5	Acc
<i>Xylocopa imitator</i>	4	0,08	12,5	Acc
<i>Xylocopa nigrita</i>	33	0,68	31,2	Cmt
<i>Xylocopa olivacea</i>	70	1,45	43,7	Cmt
<i>Xylocopa subcombusta</i>	13	0,27	31,2	Cmt
<i>Xylocopa torrida</i>	75	1,55	68,75	Cst

Quant aux valeurs de la fréquence d'occurrence (Occ) des 41 espèces capturées, 19 espèces sont communes, 8 sont constantes: *Xylocopa torrida*, *Meliponula sp1*, *Meliponula nebulata*, *Megachile bituberculata*, *Dactylurina staudingeri*, *Apis mellifera*, *Anthidium oblongatum* et *Amegilla sp.1*, 7 d'entre elles sont très accidentelles: *Lasioglossum sp2*, *Lasioglossum sp3*, *Leuconomia candida*, *Megachile cincta*, *Megachile curtula*, *Nomia sp1*, *Patellapis sp3*, et 7 autres accidentelles: *Xylocopa hottentotta*, *Xylocopa imitator*, *Patellapis sp2*, *Megachile brochidens*, *Megachile eurymera*, *Megachile biseta* et *Meliponula sp.* (Tableau 2).

Parmi les 4843 individus capturés, la famille des Apidae est la plus représentée avec 4307 individus, soit 88,9 % du total, suivie par la famille de Megachilidae (444 individus, 9,16 %). La famille de Halictidae est la moins représentée avec 92 individus soit 1,89% (Figure 5).

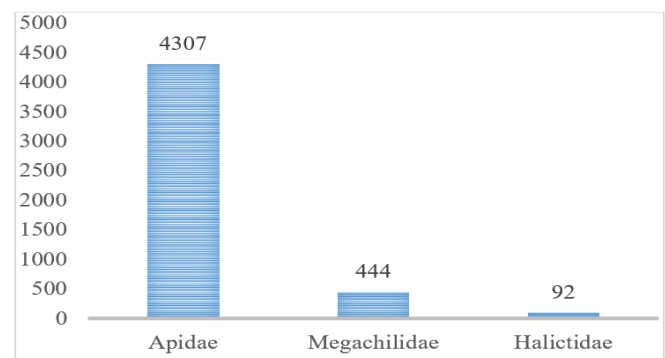


Figure 5: Répartition globale des individus par famille

À l'échelle spécifique, l'espèce *Apis mellifera* a enregistré la plus forte abondance avec 2584 individus, soit 53,4 % du total, suivie de *Dactylurina staudingeri* (508 individus, 10,5 %) (Figure 6).

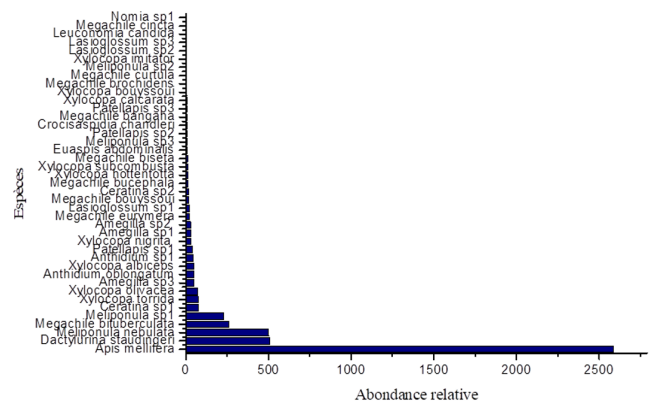


Figure 6: Répartition globale des individus selon les espèces

### Évolution saisonnière des abondances

La figure 7 décrit la variation saisonnière du nombre de spécimens récoltés.

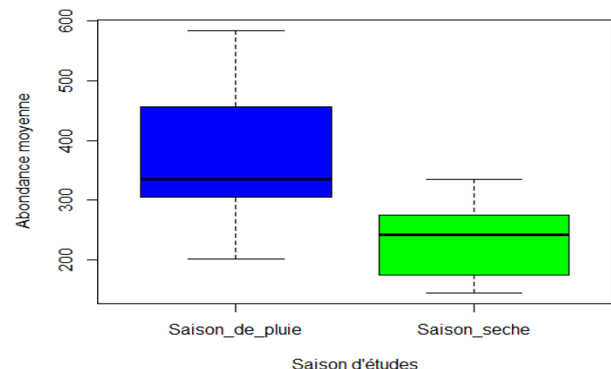


Figure 7: Variation saisonnière du nombre d'individus



Sur base de la figure 7, il y a une différence significative entre les deux saisons en terme d'individus ( $t = -2,856$ ;  $p < 0,05$ ).

### Évolution annuelle des abondances

La figure 8 décrit la variation annuelle du nombre de spécimens récoltés.

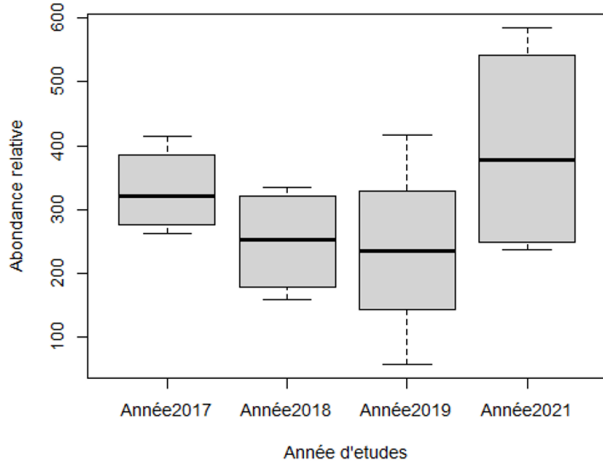


Figure 8: Variation annuelle de nombre d'individus

Le Test d'ANOVA a indiqué qu'il n'y a pas une différence significative entre les différentes années en terme d'individus ( $p = 0,2317$ ).

### Diversité alpha

#### Indices de diversité de Shannon (H')

Les figures 9 et 10 ci-dessous présentent les valeurs de l'indice de Shannon et celle de la diversité maximale obtenues en termes d'année et d'habitats.

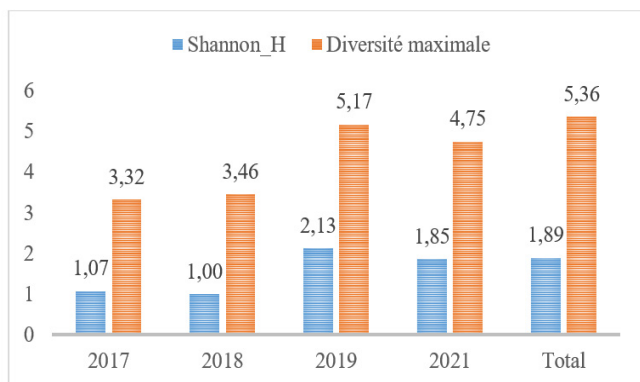


Figure 9: Évolution de l'indice de diversité de Shannon (H')

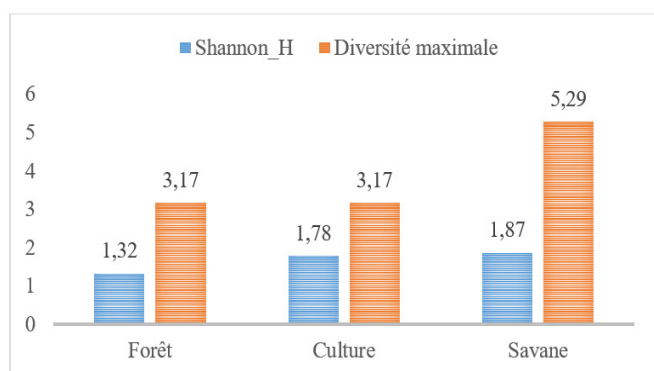


Figure 10: Présentation de l'indice de diversité de Shannon (H') en termes d'habitat

Au regard des figures 9 et 10, les valeurs obtenues de l'indice de Shannon tant pour les années que les habitats sont inférieures à 2,15 bits. Quant aux années, 2019 a présenté une valeur légèrement supérieure aux autres et la savane légèrement supérieure quant aux habitats. Ainsi, de manière générale, la diversité tant en année qu'en habitat trouvée dans cette étude est faible car, étant très éloignée de la diversité maximale.

#### Indice d'équitabilité (E)

Les figures 11 et 12 ci-dessous présentent les valeurs de l'indice de d'équitabilité en termes d'année et d'habitats.

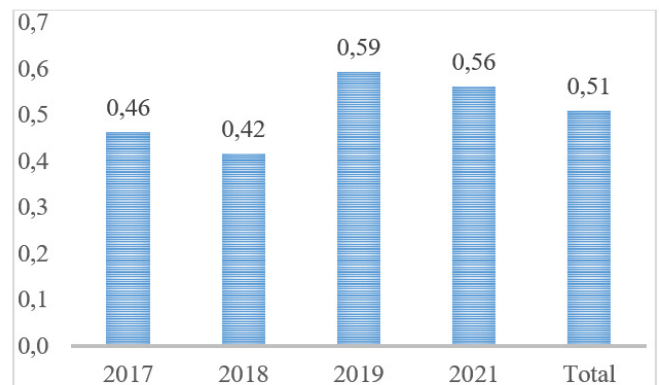


Figure 11: Évolution annuelle de l'indice d'équitabilité (E)

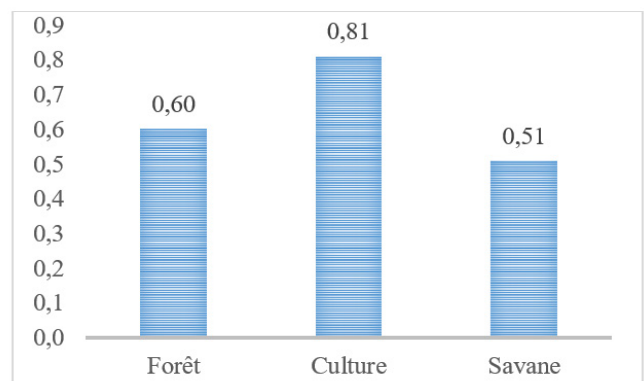


Figure 12: Évolution de l'indice d'équitabilité (E) selon l'habitat

Les valeurs de l'indice d'équitabilité confinées dans les figures 11 et 12 varient de 0,42 à 0,59 pour les différentes années et de 0,51 à 0,81 pour les différents habitats.

#### Indice de Simpson

Les figures 13 et 14 présentent les valeurs de l'indice de Simpson en termes d'année et d'habitats.

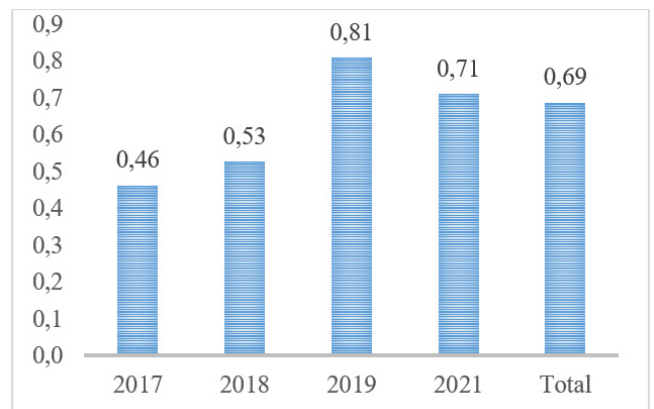


Figure 13: Évolution l'indice de Simpson en termes d'année

En termes d'années, la valeur de l'indice de Simpson la plus élevée a été enregistrée en 2019 avec 0,81. Quant aux habitats, la culture a présenté la valeur la plus élevée soit 0,78. De plus, l'ensemble des valeurs obtenues étant supérieures à 0,5 et s'approchant de 1 à l'exception de 2017, montre que les individus sont répartis de manière régulière.

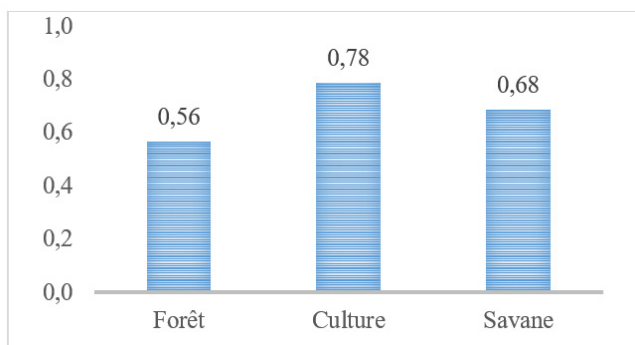


Figure 14: Evolution l'indice de Simpson selon l'habitat

**Richesse spécifique**

Selon la courbe d'extrapolation à seize (16) relevés présentée à la figure 15, la richesse spécifique a atteint 41 espèces pour un total de 4843 individus.

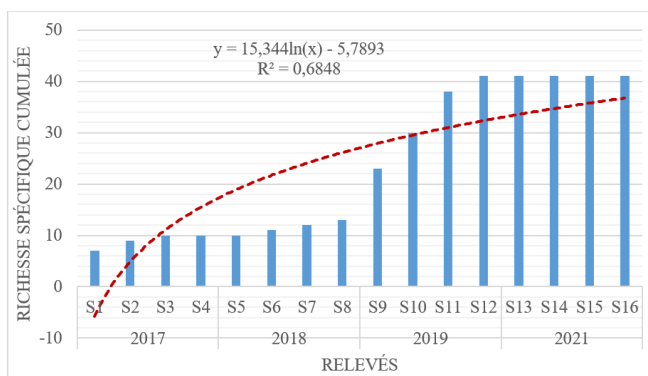


Figure 15: Courbes de tendance logarithmique de la richesse totale cumulée au cours des relevés

La figure 15 indique l'apparition d'un grand nombre d'espèce entre la septième et onzième relevé et le plateau est atteint après le onzième relevé (Figure 15). Par ailleurs, la richesse cumulée tend asymptotiquement vers une valeur maximale. Ainsi, les coefficients de détermination des courbes logarithmiques, tendant vers 1, indiquent la tendance vers une stabilisation.

**Diversité bêta**

Les tableaux 3 et 4 décrivent la variation de la composition des communautés entre les différents habitats et en fonction des années.

**Tableau 3: Valeurs annuelles de l'indice de similarité de Jaccard**

Années	2017	2018	2019	2021
2017	1			
2018	0,6154	1		
2019	0,122	0,1463	1	
2021	0,2333	0,2258	0,6154	1

Au regard de ce résultat, l'indice de similarité de Jaccard révélé une très faible similarité entre les années. Seules les années 2017-2018 et 2019-2021 sont similaires à plus de 50%. Deux groupes bien distincts ont été mis en évidence

**Tableau 4: Valeurs de l'indice de similarité en fonction des habitats**

	Forêt	Culture	Savane
Forêt	1		
Culture	0,3846	1	
Savane	0,2308	0,1707	1

sur base de l'analyse du groupement basée sur le groupe apparié Euclidien. Le groupe 1, composé des 3 années, 2017, 2018, 2021 et le groupe 2 rassemble uniquement l'année 2019 (Figure 16).

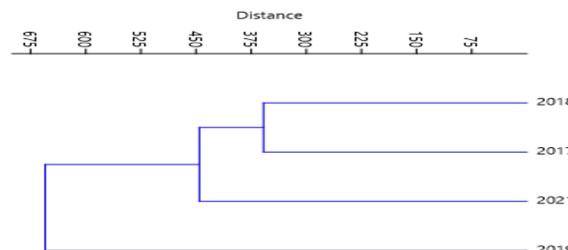


Figure 16: Dendrogramme de classification hiérarchique illustrant la similarité en fonction d'années (1: année 2017, 2: année 2018, 3: année 2019, 4: année 2021)

**Tableau 5: Répartition spatiale des abeilles récoltées**

ESPÈCES	Ni	X	S²	I	Répartition spatiale
<i>Amegilla sp1</i>	31	1,94	9,00	0,22	Régulière
<i>Amegilla sp2</i>	29	1,81	16,9	0,11	Régulière
<i>Amegilla sp3</i>	50	3,13	25,7	0,12	Régulière
<i>Anthidium oblongatum</i>	50	3,13	21,2	0,15	Régulière
<i>Anthidium sp1</i>	42	2,63	19,4	0,13	Régulière
<i>Apis mellifera</i>	2584	161,5	6512	0,02	Régulière
<i>Ceratina sp1</i>	77	4,81	121,9	0,04	Régulière
<i>Ceratina sp2</i>	17	1,06	4,33	0,25	Régulière
<i>Crociaspidia chandleri</i>	8	0,50	0,93	0,54	Régulière
<i>Dactylurina staudingeri</i>	508	31,7	3176	0,01	Régulière
<i>Euaspid abdominalis</i>	9	0,56	1,06	0,53	Régulière
<i>Lasioglossum sp1</i>	22	1,38	10,5	0,13	Régulière
<i>Lasioglossum sp2</i>	1	0,06	0,06	1,00	Aléatoire
<i>Lasioglossum sp3</i>	1	0,06	0,06	1,00	Aléatoire
<i>Leuconomia candida</i>	1	0,06	0,06	1,00	Aléatoire
<i>Megachile bangana</i>	9	0,56	0,93	0,61	Régulière
<i>Megachile biseta</i>	13	0,81	7,63	0,11	Régulière
<i>Megachile bituberculata</i>	259	16,2	1558	0,01	Régulière
<i>Megachile bouyssoui</i>	18	1,13	9,18	0,12	Régulière
<i>Megachile brochidens</i>	5	0,31	0,76	0,41	Régulière
<i>Megachile bucephala</i>	13	0,81	3,50	0,23	Régulière
<i>Megachile cincta</i>	1	0,06	0,06	1,00	Aléatoire
<i>Megachile curtula</i>	5	0,31	1,56	0,20	Régulière
<i>Megachile eurymera</i>	23	1,44	15,5	0,09	Régulière
<i>Meliponula nebulata</i>	500	31,2	2588	0,01	Régulière
<i>Meliponula sp1</i>	228	14,2	679	0,02	Régulière
<i>Meliponula sp2</i>	5	0,31	0,36	0,86	Régulière
<i>Meliponula sp3</i>	9	0,56	1,86	0,30	Régulière
<i>Nomia sp1</i>	1	0,06	0,06	1,00	Aléatoire
<i>Patellapis sp1</i>	40	2,50	30,9	0,08	Régulière
<i>Patellapis sp2</i>	9	0,56	1,60	0,35	Régulière
<i>Patellapis sp3</i>	7	0,44	3,06	0,14	Régulière
<i>Xylocopa albiceps</i>	48	3,00	25,7	0,12	Régulière
<i>Xylocopa bouyssoui</i>	6	0,38	0,52	0,73	Régulière
<i>Xylocopa calcarata</i>	7	0,44	0,80	0,55	Régulière
<i>Xylocopa hottentotta</i>	13	0,81	5,76	0,14	Régulière
<i>Xylocopa imitator</i>	3	0,19	0,30	0,63	Régulière
<i>Xylocopa nigrita</i>	33	2,06	21,0	0,10	Régulière
<i>Xylocopa olivacea</i>	70	4,38	70,5	0,06	Régulière
<i>Xylocopa subcombusta</i>	13	0,87	2,55	0,34	Régulière
<i>Xylocopa torrida</i>	75	4,69	26,6	0,18	Régulière

Par ailleurs, l'indice de similarité Jaccard ( $\beta_{jac}$ ) a révélé une très faible similarité entre les 3 habitats (Tableau 4).

### Répartition spatiale

Le tableau 5 montre la répartition spatiale d'abeilles récoltées dans la Réserve de Biosphère de Luki.

Au regard des résultats consignés dans le tableau 5, nous observons une répartition aléatoire des espèces *Nomia spl*, *Megachile cincta*, *Lasioglossum sp2*, *Lasioglossum sp3* et *Leuconomia candida*. Les espèces restantes se répartissent de manière régulière.

## DISCUSSION

L'étude réalisée dans la zone de transition de la Réserve de Biosphère de Luki sur les abeilles a permis de recenser 4843 individus répartis sur 3 familles, 5 sous familles, 14 genres et 41 espèces. Au regard de ces résultats, il se dégage que les espèces récoltées appartiennent à trois familles, dont les Apidae, les Halictidae et les Megachilidae. Il se dégage en outre que les Apidés sont les mieux représentés avec 88,9% des observations totales, soit 4307 individus capturés répartis en 20 espèces. Ces derniers sont suivis des Megachilidés avec 444 individus, soit 9,16% d'observation avec 12 espèces identifiées. En effet, les Halictidés sont les moins représentés dans cette zone avec 1,89% d'observation, soit 92 individus répartis en 9 espèces. Les familles indiquées dans ce travail sont celles signalées dans plusieurs travaux effectués à Kinshasa et au Kongo-Central (Lukoki *et al.*, 2020; Nzundu, 2014; Bukaka, 2011; Lokolo, 2011) et en Afrique subsaharienne (Eardley *et al.*, 2010).

En termes d'abondance et de richesse spécifique, la différence est bien marquée entre les habitats (forêt, culture et savane). La Savane est l'habitat le plus visité par les abeilles avec plus de 97% d'observation, soit 4709 individus répartis en 39 espèces et 6 genres. Par ailleurs la culture et la forêt ont été faiblement visitées avec 9 espèces chacune respectivement 95 et 39 individus capturés. Cette différence s'expliquerait par le fait que la savane était caractérisée par un grand nombre d'espèces en fleurs attirant ainsi les abeilles et que dans la forêt les fleurs étaient en hauteur empêchant la visibilité de ces abeilles. Ces constatations rejoignent celles de Lukoki *et al.* (2021) dans le même site qui pensent que les hyménoptères visitent plus les habitats ouverts.

De plus, vers la fin de la troisième année aucune nouvelle espèce n'a été observée et d'après la courbe de raréfaction, les captures nous ont permis d'obtenir une richesse spécifique suffisante. Par ailleurs, la courbe a atteint l'asymptote avec 41 espèces en 16 sorties avec un coefficient de détermination tendant vers 1 ( $R^2=0,68$ ) réduisant les possibilités de rencontrer les nouvelles espèces. D'après Ward et Ward (2001), plusieurs caractéristiques pourraient influencer le pouvoir de capture entre autre l'effet de la végétation environnante et la position du piège. Colwell (2013) rajoute que l'effort d'échantillonnage peut augmenter ou réduire la probabilité de rencontrer de nouvelles espèces dans un milieu.

Cependant, les résultats enregistrés dans ce milieu quant à la saison attestent que la saison des pluies aurait influencé l'activité des abeilles. Selon Bukaka (2011), cette situation s'expliquerait par le fait que la saison des pluies coïncide

avec la floraison d'un grand nombre de plantes butinées par les insectes floricoles. En revanche le test d'ANOVA a indiqué qu'il n'y a pas une différence significative entre les différentes années en terme d'individus, ceci pourrait s'expliquer par les conditions environnementales qui n'a pas connu de variations au court de l'étude. Il se dégage en outre de cette étude que les espèces communes étaient majoritaires à côté d'espèces régulières. Cette situation se traduirait d'après Canard et Poinot (2004) que les ressources utilisées par ces espèces sont distribuées de manière régulière.

Quant aux indices écologiques évalués, l'année 2019 se montre très remarquable tant pour l'indice de Shannon, d'équitabilité que de Simpson avec respectivement (5,18; 0,59; 0,81). De plus, de manière générale, la présente étude témoigne d'une diversité faible soit ( $H=1,89$ ) très éloignée de la valeur obtenue pour la diversité maximale ( $H=5,36$ ). L'indice de Simpson indique par ailleurs une valeur proche de 1 (soit 0,69) indiquant une régularité satisfaisante dans la distribution des individus entre les différentes espèces et la valeur d'équitabilité obtenue ( $E=0,51$ ) renseignent que la quasi-totalité des effectifs est concentrée sur une espèce. Ces constatations corroborent avec les résultats trouvés en renseignant que plus de 53% d'observation se concentre que sur *Apis mellifera* et *Dactylurina staudingeri*.

La diversité bêta quant à elle, analysée par l'indice de similarité de Jaccard et la classification hiérarchique, a exprimé une très faible similitude tant pour les années que pour les habitats prospectés dans cette zone. Conséquemment, dans l'ensemble de l'étude et quand à la période d'échantillonnage, seule l'analyse sur les années atteste que 2017-2018 et 2019-2021 présentent une similarité de 61,5%. D'après Amri *et al.* (2019), cette ressemblance résulterait de la structure et de la composition de ces insectes dans le milieu.

## CONCLUSION

Afin d'étudier la diversité des communautés d'abeilles, qui est un groupe taxonomique et écologique important, une étude a été menée dans la zone de transition de la Réserve de Biosphère de Luki durant quatre ans allant de 2017, 2018, 2019 et 2021 avec une prospection dans trois habitats (forêt, culture et savane) en utilisant une capture par filet et coupelles colorées.

Les techniques utilisées ont permis de collecter 4843 individus, répartis inégalement sur 3 familles, 14 genres et 41 espèces. L'analyse a mis en évidence que les communautés des abeilles ont des compositions différentes avec dominance des espèces de la famille des Apidae, qui représentent 48,78% du total d'espèces récoltées.

L'analyse de deux niveaux de diversité, à savoir la diversité alpha et la diversité bêta, a révélé qu'il y a une différence bien marquée en termes d'abondance et de richesse spécifique entre les années et les habitats. De plus, la savane se relève être l'habitat le plus visité au regard des observations faites.

L'importante biodiversité des abeilles rencontrée dans cette réserve, exige de protéger ce type d'écosystème, vraisemblablement en danger, à cause de la pression anthropique, qui affecte leur stabilité. En plus, leur situation préoccupante exhorte une prise de conscience et une mise en action d'une politique locale sérieuse vis-à-vis de l'utilisation de la Réserve.

## RÉFÉRENCES

- Amri C., Neffar S., Ouchtati N., Chenchouni H. (2019). Spatio-temporal patterns of ground beetle diversity (Coleoptera: Carabidae) in a Ramsar wetland (Chott Tinsilt) of Algeria. *Turkish Journal of Zoology*, 43: 502-515.
- Ballis A. (2013). Un guide sanitaire et réglementaire Mémento de l'apiculteur, version 1.1. 64 p.
- Bigot L., Bodot P. (1973). Contribution à l'étude biocénétique de la garrigue à *Quercus coccifera* – Composition biotique du peuplement des invertébrés. *Vie et Milieu*, 23: 229-249.
- Blondel J. (1979). Biogéographie et écologie. Masson Ed., Paris. 173p.
- Bukaka, E. (2011). Biodiversité des abeilles sauvages (Hymenoptera, Apoidea) de Kinshasa. Kinshasa: Inédit- Université de Kinshasa/UNIKIN.
- Canard A., Poinot D. (2004). Quelques méthodes statistiques typiques de l'étude des populations et des peuplements par la méthode des quadrats. Fiche technique, Université de Rennes 1, 34 p.
- Colwell R. (2013). EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9. <http://purl.oclc.org/estimates>.
- De Bello F., Leps J., Sebastia MT. (2007). Grazing effects on the species-area relationship: Variation along a climatic gradient in NE Spain. *Journal of Vegetation Science*, 18: 25-34.
- Eardley C., Urban R., (2010). Catalogue of Afrotropical bees (Hymenoptera: Apoidea: Apiformes). *Zootaxa*, 55: 1-548.
- Eardley C., Kuhlmann M., Pauly A. (2010). The Bee Genera and subgenera of sub-Saharan Africa. *Abc Taxa*, Volume 7. 145 p.
- Fabrice, R., Le Féon, V. (2016). Le tumultueux mariage entre abeilles et agriculture, *Openfield*. 14p.
- Fijen, T. P., Kleijn, D. (2017). How to efficiently obtain accurate estimates of flower visitation rates by pollinators. *Basic and Applied Ecology*, 19: 11-18.
- Geroff R., Gibbs J., McCravy K. (2014). Assessing bee (Hymenoptera: Apoidea) diversity of an Illinois restored tallgrass prairie: methodology and conservation considerations. *Journal of Insect Conservation*, 18: 951-964.
- Gezon Z., Wyman E., Ascher J., Inouye D., Irwin R. (2015). The effect of repeated, lethal sampling on wild bee abundance and diversity. *Methods in Ecology and Evolution*, 6:1044-1054.
- Hammer Ø., Haroer D., Rayen P. (2001). Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontol Electron.*, 4:1-9.
- Haubruge E., Nguyen B., Widart J., Thomé J., Fickers P., Depauw E. (2006). Le dépérissement de l'abeille domestique, *Apis mellifera* L., 1758 (Hymenoptera: Apidae): faits et causes probables. *Notes fauniques de Gembloux*, 59: 3-21.
- Heneberg P., Bogusch P. (2014). To enrich or not to enrich? Are there any benefits of using multiple colors of pan traps when sampling aculeate Hymenoptera?. *Journal of Insect Conservation*, 18:1123-1136.
- INP (2011). Enjeux de la pollinisation pour la production agricole en Tarn-et-Garonne, Projet CAPSTON, AREM P4, 91<sup>ème</sup> promotion, Toulouse, 81 p.
- Lokolo A. (2011). Biodiversité des abeilles sauvages de Kinshasa: cas de l'université de Kinshasa. Travail de fin d'étude, département de Biologie, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa. Inédit. 36p.
- Lukoki H., Ilunga J., Bakambana T., Lukoki F. (2021). Preliminary study of the ecology and community structure of wasps (Hymenoptera) in the Luki biosphere reserve (Kongo-Central/Democratic Republic of Congo). *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 9: 31-34.
- Lukoki H., Kikufi A., Lukoki F. (2020). Étude des choix floraux des pollinisateurs entomophiles. Études des réseaux d'interactions plantes-pollinisteurs: cas du Jardin Botanique de Kisantu et de la Vallée de la Funa. Éditions Universitaires Européennes. 111 p.
- Macron E. (2010). Mesures de la biodiversité. Unité Mixte de Recherche, Écologie des Forêts de Guyane. 54 p.
- Magurran A. (2004). Measuring Biological Diversity. 1<sup>ère</sup> ed. Oxford, UK: Blackwell Publishing. 35p.
- Nielsen A., Dauber J., Kunin W., Lamborn E., Jaukerg B., Moora M., Potts S., Reitan T., Roberts S., Söber V., Settele J., Steffan-Dewenter I., Stout J., Tscheulin T., Vaitis M., Vivarelli D., Biesmeijer J., Petanidou T. (2012). Pollinator community responses to the spatial population structure of wild plants: A pan-European approach. *Basic and Applied Ecology*, 13: 489-499.
- Nzundu J. (2014). Contribution à l'étude de l'activité pollinisatrice des abeilles domestiques et sauvages de Kinshasa, cas de la vallée de la Funa, T.F.C. Inédit Faculté des Sciences, département de Biologie. 51p.
- Oldroyd B. (2007). What's killing American honey bees. *PLoS Biology*, 5:1195-1199.
- Pauly A. (2016a). Genus *Crocisaspida* Ashmead (Hymenoptera, Halictidae). Atlas Hymenoptera, Mons, Gembloux. <http://www.zoologie.umh.ac.be/hymenoptera/page.aspx?ID=81>
- Pauly A. (2016b). Les Xylocopa d'Afrique. Atlas Hymenoptera. <http://www.atlashymenoptera.net/page.aspx?id=84>
- Pauly A. (2017). The genus *Nomioides* Schenck, 1867. <http://www.atlashymenoptera.net/page.aspx?ID=96>
- Pauly A. (2015). The species of the genus *Apis* Linnaeus. <http://www.atlashymenoptera.net/page.aspx?ID=238>
- Pauly A., Vereecken N. (2013). Les Meliponinae africaines <http://www.atlashymenoptera.net/page.aspx?ID=121>
- Pfiffner L., Müller A. (2016). Abeilles sauvages et pollinisation. FIBL, Faits et chiffres, 8p.
- Potts S., Biesmeijer J., Kremen C., Neumann P., Schweiger O., Kunin W. (2010). Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in ecology, evolution*. 25: 345-53.
- Rasmont P., Pauly A., Terzo M., Patiny S., Michez D., Iserbyt S., Barbier Y., Haubruge E. (2006). The survey of wild bees (Hymenoptera, Apoidea) in Belgium and France. In: Status of the world's Pollinators. Food and Agriculture Organisation of the United Nations (eds), Rome. 18p.
- Reza S. (2009). Causes de la mortalité dans les colonies d'abeilles. *Vie de l'OIE*, 4: 5-11.
- Roulston T., Smith S., Brewster A. (2007). A Comparison of Pan Trap and Intensive Net Sampling Techniques for Documenting a Bee (Hymenoptera: Apiformes) Fauna. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 80: 179-181.
- Steffan-Dewenter I., Potts S., Packer L. (2005). Pollinator diversity and crop pollination services are risk. *Trends in Ecology and Evolution*, 20: 651-652.
- Vanbergen A., Garratt M. (2013). Threats to an ecosystem service: Pressures on pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11: 251-259.
- Ward K., Ward R. (2001). Diversity and abundance of carabid beetles in short-rotation plantings of sweetgum, maize and switchgrass in Alabama. *Agroforestry Systems*, 53: 261-267.
- Westphal C., Bommarco R., Carr G., Lamborn E., Morison N., Vaissi B., Woyciechowski M., Biesmeijer J., Kunin W., Settele J. (2008). Measuring Bee Diversity in Different European Habitats and Biogeographical Regions. *Ecological Monographs*, 78: 653-671.

# Caractérisation épidémiologique, clinique et financière de l'épizootie de 2018 de la fièvre aphteuse dans les élevages bovins au Burkina Faso

L.D. DAHOUROU<sup>1,2</sup>, K. SANFO<sup>2</sup>, M. C. KADJA<sup>3</sup>, A. TRAORE<sup>2</sup>

(Reçu le 09/10/2022; Accepté le 11/11/2022)

## Résumé

Le Burkina Faso a connu plusieurs épizooties de la fièvre aphteuse dont celle de 2018. La province du Kéné Dougou dans la région des Hauts-Bassins fait partir des localités les plus touchées par les épidémies. La présente étude avait pour objectif de caractériser sur le plan épidémiologique, clinique et financier l'épizootie de 2018 de la fièvre aphteuse dans les élevages bovins de la province du Kéné Dougou. Ainsi une enquête par interview a été conduite à l'aide d'un questionnaire auprès de 253 éleveurs de bovins de ladite province. L'étude a montré que la maladie a débuté avec la saison des pluies (Mai et juin 2018). Des cas ont été signalés tous les mois jusqu'en Novembre 2018. Les signes cliniques les plus décrits par les éleveurs étaient les plaies podales (94%) et les plaies buccales (93%) et l'hyper salivation (90%). Le nombre d'animaux morts selon les déclarations des éleveurs étaient 433 dont 63,7% de veaux et velles. Les pertes financières pour cette épizootie ont été estimées à 99 653 230 FCFA (167 460 USD).

**Mots clés:** Bovin, Burkina Faso, Fièvre aphteuse, Pertes financières

## Epidemiological, clinical and financial characterization of 2018 foot and mouth disease outbreak in Burkina Faso

### Abstract

Burkina Faso has experienced several epizootics of foot and mouth disease (FMD), of which the most recent was in 2018. The province of Kenedougou in the Upper-Basins region is among the most affected localities. The objective of this study was to characterize the epidemiological, clinical and financial aspects of the 2018 FMD outbreak in cattle farms in Kenedougou province. For this study, an interview survey was conducted with 253 cattle farmers using a questionnaire. The study showed that the onset of the disease started at the beginning of the rainy season (May and June). Cases were reported every month until November. The most common clinical signs described by the farmers were foot sores (94%) and mouth sores (93%) and hyper salivation (90%). According to farmers, 433 cattle died of the disease and among them 63.7% were calves. The financial losses associated with this outbreak were estimated at 99 653 230 FCFA (167 460 USD).

**Keywords:** Cattle, Burkina Faso, Foot and mouth disease, Financial losses

## INTRODUCTION

L'élevage occupe une place importante dans l'économie du Burkina Faso et est pratiqué par plus de 80% des ménages qui en tire tout ou une partie de leurs revenus (MRAH, 2012). Il contribue pour plus de 18% à la formation de la valeur ajoutée nationale (PNUD, 2012) dont 12% pour les animaux et 6% pour les cuirs et peaux. Il représente le troisième sous-secteur le plus important en matière de recettes d'exportation avec une part de contribution moyenne évaluée à 14,2% en 2009 (PNUD, 2012). L'élevage bovin, avec un effectif estimé à 9 840 000 de têtes en 2018 (INSD, 2017), occupe la troisième place du sous-secteur de l'élevage après l'aviculture et les petits ruminants. Les productions dans le domaine de l'élevage bovin ont été estimées à 30 137 tonnes de viande dans les abattages contrôlés, 3 973 000 litres de lait et 221 000 tonnes de cuirs en 2014 (MRA, 2014). Il est majoritairement de type traditionnel avec l'exploitation des races locales. Malgré l'importance socio-économique de cet élevage, son développement est confronté à de nombreuses contraintes. En effet, en plus du faible potentiel génétique des races, l'élevage bovin se heurte sur le plan sanitaire à des pathologies majeures dont les zoonoses et les maladies animales transfrontalières. Ces pathologies sont responsables des mortalités et de la baisse des performances zootechniques, ce qui occasionne chez les éleveurs des pertes économiques importantes. Parmi ces pathologies, la fièvre aphteuse constitue une réelle menace pour le secteur bovin burkinabé. Bien que la fièvre aphteuse soit rarement fatale chez les animaux adultes, le taux de

morbidity peut atteindre les 100% et la mortalité peut être élevée chez les jeunes (OIE, 2018). Une évaluation de l'impact économique de cette pathologie a montré qu'en Afrique de l'Ouest, en cas d'épizootie, l'éleveur connaît une perte de revenu due à la dépréciation de la valeur marchande des animaux qui peut parfois atteindre 50%. Le Burkina Faso a connu plusieurs épizooties de cette pathologie dont la plus importante a été celle de 2018 avec une expansion rapide à travers le pays et les régions les plus touchées ont été celle de la région du Nord (Loroum), du Centre-Est (Boulgou), du Sud-Ouest (Poni) et des Hauts-Bassins (Kéné Dougou, Tuy et Houet) (OIE, 2018). Malgré la forte morbidité et les mortalités associées à cette épidémie en 2018 au Burkina Faso, aucune étude n'a été menée à ce jour pour caractériser cette épidémie sur le plan clinique, épidémiologique et financier dans les zones les plus touchées. C'est ce qui justifie la présente étude dont l'objectif a été de caractériser sur le plan épidémiologique, clinique et financier l'épizootie de 2018 de la fièvre aphteuse dans les élevages bovins de la province du Kéné Dougou.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Zone et période d'étude

La présente étude s'est déroulée Décembre 2018 à Janvier 2019 au Burkina Faso dans la région des Hauts-Bassins plus précisément dans la province du Kéné Dougou (Figure 1). Cette zone a été sélectionnée sur la base de l'accessibilité des villages mais également de l'importance des

<sup>1</sup> Institut des Sciences de l'Environnement et du Développement Rural, Université de Dédougou, Burkina Faso

<sup>2</sup> Laboratoire de Biologie et santé animales, Institut de l'Environnement et de recherches Agricoles, Ouagadougou, Burkina Faso

<sup>3</sup> Service de Pathologie Médicale, Anatomie Pathologique et Clinique Ambulante, École Inter-Etats des Sciences et Médecine Vétérinaires, Dakar, Sénégal

cas de fièvre aphteuse notifiés à la Direction Générale des Services Vétérinaires (DGSV) du Burkina Faso au cours de l'année 2018. La province du Kéné Dougou est une importante zone d'élevage bovin au Burkina Faso. La région comptait en 2018 1 633 910 têtes de bovin et constitue la deuxième plus grande région d'élevage bovin en termes d'importance numérique du cheptel avec un élevage bovin extensif, semi-intensif et intensif surtout autour de la ville de Bobo Dioulasso, la capitale de la région (INSD, 2020).

## MÉTHODES

### Type d'étude, échantillonnage et taille d'échantillon

Il s'agit d'une étude descriptive transversale qui a concerné les élevages bovins de la province du Kéné Dougou. La province compte 13 communes et les communes enquêtées ont été choisies suite aux entretiens avec les responsables de la Direction provinciale des ressources animales et halieutiques du Kéné Dougou. Seulement les communes ayant notifiés des cas de fièvre aphteuse à la direction provinciale ont été incluses dans l'étude. Au total 253 éleveurs ont été choisis de manière aléatoire dans 8 communes des 13 communes que compte la province.

### Collecte des données

Les données ont été collectées en utilisant un questionnaire administré par interview aux éleveurs. Le questionnaire a été administré en langue Dioula (langue locale). Les informations collectées concernaient les données socio-démographiques des éleveurs bovins, les caractéristiques des élevages bovins et les données épidémiologiques et cliniques de l'épizootie de 2018 de la fièvre aphteuse.

## Évaluation de l'impact économique

Les pertes dues à la mortalité ont été exprimées en termes de coût de remplacement du bovin mort. La perte est obtenue en faisant le produit du nombre des bovins morts par classe d'âge par le prix moyen du bovin de remplacement par classe d'âge. Les prix des bovins utilisés sont les prix de vente des animaux dans les marchés obtenus auprès des éleveurs enquêtés. L'enregistrement des mortalités a été fait en tenant compte des différentes classes d'animaux. La valeur monétaire des pertes liées à la mortalité  $M$  a été estimée selon la formule:  $M_i = D_a * P_a$  ( $D_a$ : nombre d'animaux morts par classe d'âge  $i$ ;  $P_a$ : Le prix de vente moyen d'un animal par classe d'âge  $i$ ). Au total, la valeur de coûts directs liés à la mortalité ( $DM$ ) a été exprimée par la formule: Somme des valeurs des animaux morts de la fièvre aphteuse ( $M$ ) par troupeau  $i$ , Soit:  $DM = \sum M_i$ .

La perte totale de production laitière due à la morbidité et à la mortalité a été estimée par ( $PT$ ):  $PT = Q * P_u$  où  $Q$  représente le volume de lait perdu (en litres) par les éleveurs durant la période de maladie (aussi bien pour les femelles mortes que pour la perte de lait due à la maladie) et  $P_u$  est le prix unitaire moyen du litre lait dans la zone d'étude. Le volume ( $Q$ ) de lait de lait perdue due à la morbidité et à la mortalité (litres) par les éleveurs durant la période de maladie des vaches allaitantes  $Q = \sum (T_i * P_i)$  où  $T$  en jour est le temps durant lequel la réduction de la production laitière du troupeau  $i$  de vache allaitante malade et morte a été constaté et  $P$  en litre est la perte de lait journalier du troupeau  $i$  de vache allaitante malade et morte.

Les pertes financières liées à la force de travail ont été calculées selon la formule suivante:  $L = N * (T * adj) * P/2$  où  $L$  représente la perte financière due à la perte de force

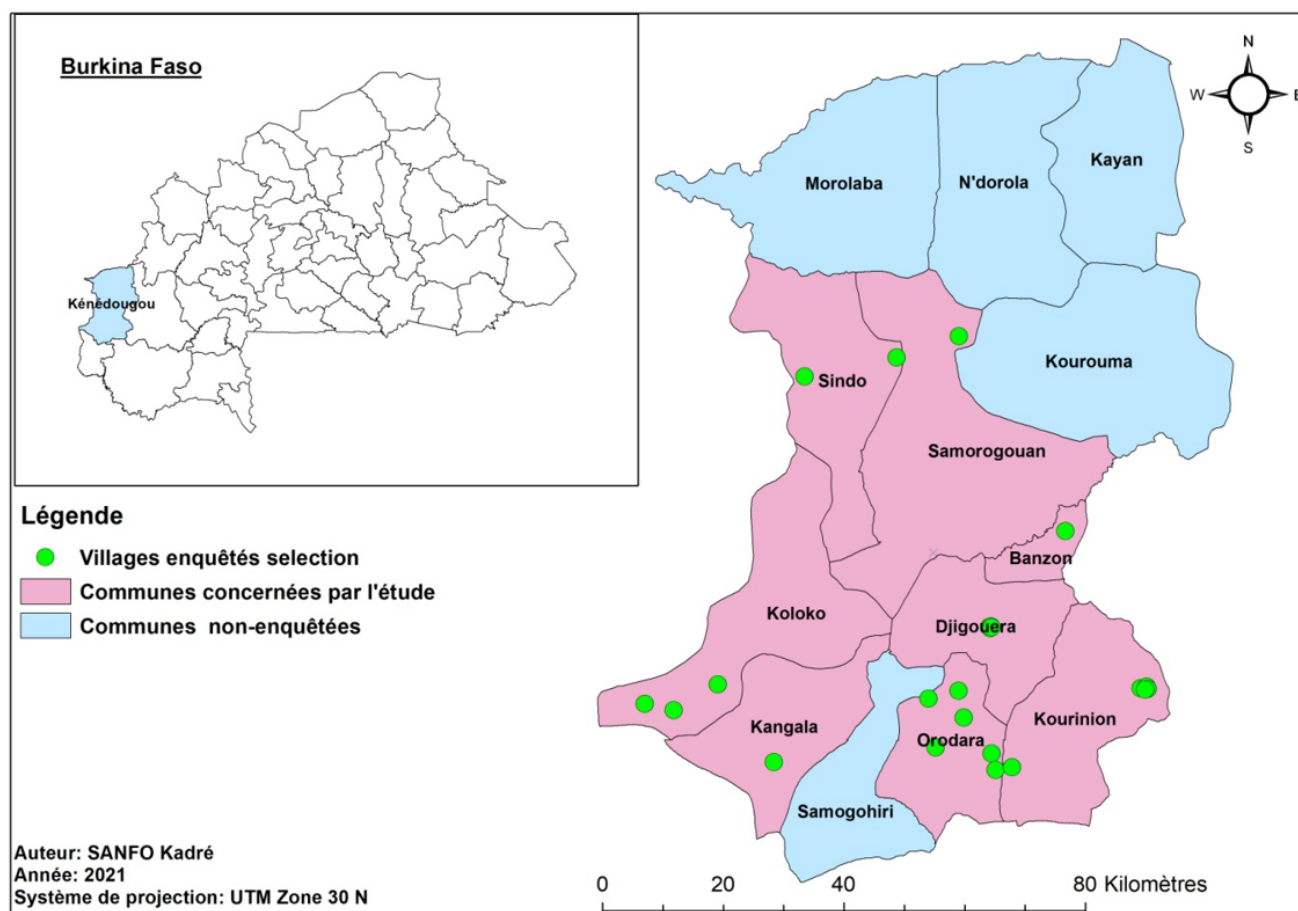


Figure 1: Répartition des villages enquêtés dans la commune du Kéné Dougou

de traction; N le nombre de bœufs malades à l'entrée de la saison des pluies et mise au repos, T la durée moyenne de la maladie en jours d'un bœuf de trait malade, adj un facteur d'ajustement, et P le prix de la rente de force de travail d'une paire de bœuf par jour. La durée moyenne de la maladie en jours d'un bœuf de trait malade T est obtenue en faisant:  $T = (\sum Di) / N$ , D la durée d'arrêt de travail des bovins de trait i (troupeau) à l'entrée de la saison des pluies et mise au repos et N le nombre de bœufs malades à l'entrée de la saison des pluies et mise au repos. Les bœufs de trait dans les exploitations agricoles travaillent environ 2 mois. La durée a donc été fixée à 65 jours selon une étude similaire réalisée par GOE (1987) en Éthiopie. La probabilité qu'un jour où un bœuf est malade coïncide avec un jour de travail effectif est donc égale à 65/365 (0,178). Ce ratio est utilisé comme facteur d'ajustement (adj) pour convertir les jours de maladie en jours de travail réels perdus.

Les pertes liées à la lutte sont relatives aux dépenses occasionnées par le traitement, le diagnostic et la prophylaxie. Elles prennent également en compte les frais de prestations des agents de santé animale.

## RÉSULTATS

### Caractéristiques des éleveurs et des élevages

Dans cette étude, 80,4% des éleveurs avaient un âge compris entre 30-59 ans, 7,2% avaient moins de 30 ans et 12,4% plus de 60 ans. En outre, respectivement 58%, 28%, 10% et de 2% des éleveurs interviewés étaient des Sénoufo, des Peulh, des Toussien, des Mossi et des Siamou. Les résultats ont montré que parmi les éleveurs enquêtés, 71% n'avaient aucune formation formelle et seuls 19% des éleveurs ont atteint le niveau primaire. L'étude a noté que 60% des éleveurs avaient des effectifs de bovins supérieurs à 30 têtes et 28% ont une taille d'exploitation comprise entre 10 à 20 têtes de bovins, seulement 12% avaient moins de 10 bovins. Dans les exploitations, outre les bovins, il y avait également les ovins (76%) et les caprins (57%). Selon le mode d'acquisition, 52% des éleveurs enquêtés ont hérité de leur troupeau. Tous les éleveurs enquêtés étaient des agro-pasteurs avec 67% des enquêtés qui font de l'agriculture leur activité principale et l'élevage représente l'activité secondaire pour cette catégorie d'agropasteur. Le reste des enquêtés (32%) pratiquait l'élevage comme une activité principale. L'élevage sédentaire était pratiqué par 77% des éleveurs enquêtés. Aussi, 14% des éleveurs pratiquaient l'élevage transhumant.

L'aliment distribué aux animaux est constitué principalement de résidus de récoltes (92%) (Fane d'arachides, tige de mil, de maïs, ...) et un faible apport de concentré alimentaire industriel était fait par 29% des éleveurs. En outre, la complémentation alimentaire était faite occasionnellement par 40% des éleveurs pendant les périodes de manque de pâturage et pour les animaux malades. Tous les élevages transhumants ne font aucun apport en complément alimentaire.

### Caractéristiques de l'épidémie de 2018

La plupart des fermes (51%) ont signalé que le début de la maladie a coïncidé avec le début de la saison des pluies donc en mai et juin (Tableau 1). Des cas ont été repérés dans tous les mois jusqu'en novembre. D'une manière générale, c'est au mois de juin que la grande partie des éleveurs (40%) ont connu la maladie dans leurs troupeaux (Tableau 1).

**Tableau 1: Périodes d'apparition et de fin de la maladie dans les troupeaux**

Période de la maladie	Début de la maladie	Fin de la maladie
Avril	4 %	-
Mai	11 %	-
Juin	40 %	-
Juillet	22 %	8 %
Août	18 %	7 %
Septembre	5 %	24 %
Octobre	-	51 %
Novembre	-	10 %

Les animaux malades présentaient des signes variés notamment les plaies podales (94%), les plaies buccales (93%), hypersalivation (90%) et les plaies des trayons (64%). Il a été noté également des mortalités chez les veaux (36% des éleveurs) et les jeunes animaux (8% des éleveurs enquêtés) et chez les adultes (16% des éleveurs enquêtés). Une baisse de production chez les vaches laitières a été notée par 75% des éleveurs. Parmi les enquêtés, 80% ont mis au repos des travaux champêtres les animaux de trait malades.

### Impact économique de la fièvre aphteuse

#### Pertes liées aux mortalités des animaux

Les résultats de l'enquête ont montré que l'épizootie a entraîné la mort de 433 bovins. L'effectif des bovins morts est réparti en veaux et velles, jeunes animaux, gestantes, allaitantes (Tableau 2). Aucun cas de mortalité de bœuf de trait n'a été enregistré auprès des éleveurs enquêtés. Ces mortalités ont engendré des pertes financières estimées à 38 560 000 F CFA (Tableau 3).

**Tableau 2: Répartition de la mortalité par catégorie de bovins**

Catégorie de bovins	Nombre d'animaux mort	Proportion (%)
Veaux et velles	276	63,7
Jeunes bovins	81	18,7
Gestante	22	5,1
Allaitante	54	12,5
Total	433	100

**Tableau 3: Pertes financières dues à la mortalité des bovins**

Rubriques	Nombre	Montant (FCFA)
Nombre de velles et veaux = n1	276	
Prix de vente d'une velle/veau = Pn1	-	60 000
Pertes due à la mortalité des velles et veaux = M1	-	16 560 000
Nombre de jeunes bovins = n2	81	
Prix de vente d'un jeune bovin = Pn2	-	100 000
Pertes dues à la mortalité des jeunes bovins = M2	-	8 100 000
Nombre de gestante = n3	22	
Prix de vente d'une gestante = Pn3	-	325 000
Pertes dues à la mortalité des gestantes = M3	-	7 150 000
Nombre d'allaitante = n4	54	
Prix de vente d'une allaitante = Pn4	-	250 000
Pertes dues à la mortalité des allaitantes = M4	-	13 500 000
Pertes totales liées à la mortalité bovine = DM	-	38 560 000

### Pertes de productions laitières

Lors de l'étude, il a été noté que la durée de la perte de production laitière a varié entre 1 et 150 jours avec une moyenne de 60 jours. L'enquête a permis de dénombrier 1920 vaches allaitantes malades auprès de 193 éleveurs enquêtés soit en moyenne 10 vache allaitante malades par éleveur. Parmi les vaches allaitantes malades, 54 sont mortes durant cette épizootie. La perte journalière de lait a été estimée à 2,5 litres chez 54,2 % des éleveurs enquêtés, 8 litres chez 17,4 % et 13 litres pour 3,9 %. Le reste constitué de 24,4 % des éleveurs enquêtés n'ont enregistré aucune perte de lait durant la période de la maladie. Au total, 58 509 litres de lait ont été perdus ce qui équivaut à une perte financière de 14 627 250 F CFA à raison de 250 F CFA par litre de lait soit une perte de 75 789 F CFA par élevage.

### Pertes liées à la force de travail

Selon les éleveurs interviewés, dans la province du Kéné-dougou, les bœufs sont utilisés pour les travaux champêtres et très rarement pour le transport des personnes et des biens. L'arrêt de travail chez les bœufs de trait a varié de 0 à 120 jours. Il ressort de l'étude que les bœufs ont été écarté de la traction animale et mis au repos en moyenne 58 jours durant la période de l'épizootie. La maladie a touché 541 bœufs de trait à l'entrée de la saison des pluies et mis au repos (Tableau 4). Certains bœufs de trait (382) ont été atteints après la phase d'utilisation de ces animaux pour les travaux champêtres. Le prix de traction attelée d'une paire de bœufs par jour a été de 15 000 FCFA selon les données collectées.

### Pertes liées à la lutte contre la fièvre aphteuse

Les éleveurs enquêtés ont utilisé à la fois des traitements traditionnels (43%) et des traitements modernes (25%). Aucun des éleveurs interviewés n'a fait recours à la vaccination lors de la maladie. Ces traitements ont été soit appliqués en automédication, soit par l'appui d'un agent de santé animale. Les dépenses effectuées par les éleveurs enquêtés pour traiter les animaux malades ont été estimées à quatre million cinq cent soixante-seize mille trois cent cinquante (4 576 350) FCFA.

### Synthèse des pertes financières liées à la fièvre aphteuse

Les pertes financières enregistrées auprès des éleveurs enquêtés ont été réparties en pertes liées aux mortalités, aux productions laitières, à la force de travail et à la lutte contre la maladie. La perte totale qui représente la somme des pertes suscitées, est estimée à 99 653 230 FCFA (167 459 USD) (Tableau 5).

Dans l'évaluation de ces pertes financières, certaines données (carburant, téléphone, achats matériels, traitements traditionnels, etc.) n'ont pas été prises en compte car elles étaient difficilement quantifiables.

### DISCUSSION

La méthodologie de la présente étude a été inspirée de précédents travaux sur l'évaluation de l'impact financier de la fièvre aphteuse (Knight-Jones and Rushton, 2013). Dans le cadre de cette étude certains coûts comme les coûts liés à la main d'œuvre, la communication et au transport n'ont pas été estimés du fait des difficultés à les évaluer de manière précise dans le contexte de l'élevage au Burkina Faso. Aussi les coûts liés à la lutte contre la maladie au niveau des services vétérinaires n'ont pas été évalués dans la présente étude. Néanmoins, cette démarche méthodologique donne l'avantage d'avoir plus d'informations sur les pertes de lait, les pertes liées à la force de travail, les pertes liées à la mortalité et les pertes liées à la lutte. Elle a, ainsi, permis d'apprécier l'impact financier de l'épizootie de la fièvre aphteuse de 2018 dans les élevages enquêtés de la province du Kéné-dougou afin de communiquer aux autorités nationales l'importance de la maladie basée sur des données chiffrées.

Les résultats de l'étude ont montré que la fièvre aphteuse a été notée durant la saison des pluies. Des études antérieures ont aussi noté le caractère saisonnier de cette maladie en Afrique avec plus de cas notés durant la saison des pluies (Souley Kouato *et al.*, 2018), cependant Ayebazibwe *et al.* (2010) ont noté en Ouganda que la maladie sévissait surtout en saison sèche où les mouvements du bétail sont plus importants. Elle a révélé que les signes prédominants observés par les éleveurs enquêtés sont les plaies podales,

**Tableau 4: Évaluation des pertes financières liées à la force de travail**

Catégorie de bovins	Quantité	Montant (FCFA)
Nombre de bœufs de trait malades à l'entrée de la saison et mise au repos = N	541	
Durée moyenne de la maladie (jour) = T	58	
Facteur d'ajustement = F	0,178	
Prix de la paire de bovin par jour de travail (FCFA) = P	15 000	
Perte totale de force de travail (FCFA) = $L = N * (T * F) * P/2$	$541*(58*0,178) *15000/2$	41 889 630

**Tableau 5: Synthèse des pertes financières liées à la fièvre aphteuse**

Rubriques	Montant (FCFA)	Proportion (%)
Pertes liées aux mortalités des animaux	38 560 000	38,7
Pertes de productions laitières	14 627 250	14,7
Pertes liées à la force de travail	41 889 630	42,0
Pertes liées à la lutte	4 576 350	4,6
Pertes totales	99 653 230	100



les plaies buccales, et hypersalivation. Des observations similaires ont été faites en Zambie par Banda *et al.* (2014). Les pertes financières associées à la maladie ont été engendrées par les mortalités, les pertes de production laitière, les pertes liées à la force de travail et les coûts de lutte consentis par les éleveurs. Des observations similaires ont été faites au Niger par Souley Kouato *et al.* (2018), au Kenya par Mulei *et al.* (2001), en Ouganda par (Baluka, 2016) et en Éthiopie (Jemberu *et al.*, 2014; Tadesse *et al.*, 2020). La maladie a entraîné une baisse de production chez les vaches laitières ou allaitantes. Cette baisse de production laitière liée à la fièvre aphteuse a déjà été rapportées par diverses études antérieures (Bayissa *et al.*, 2011; Ferrari *et al.*, 2014; Souley Kouato *et al.*, 2018). Des cas de mortalités ont été notés par les éleveurs mais les veaux ont été les plus atteints comme décrits précédemment par Souley Kouato *et al.* (2018) au Niger. Les pertes totales liées à la mortalité ont été évaluées à 38 560 000 FCFA (69 665,76 USD) dans les élevages bovins enquêtés. Ces pertes sont supérieures à celle obtenus par Jemberu *et al.* (2014) qui a noté des pertes de 34 713 USD en Ethiopie. Des études similaires ont rapporté 3,3 millions USD au Maroc (James *et al.*, 2002). Les pertes liées à la force de travail ont été estimées à 41 889 630 FCFA (70 402,7 USD). Des pertes moins élevées ont été notées par Jemberu *et al.* (2014) qui en Éthiopie ont évalué les pertes liées à la force de travail des bovins à 58 000 USD.

Les pertes de production laitière dues à la morbidité et à la morbidité ont été estimées à 14 627 250 FCFA avec une moyenne de 75 789 F CFA par élevage. Ces données de pertes de production sont légèrement inférieures à celles estimés au Niger par Souley Kouato *et al.* (2018) qui étaient de 165,8 euros par élevage. En outre, en Éthiopie, Jemberu *et al.* (2014) ont estimé les pertes de production laitière des vaches malades à 33 dollars US par vache malade pour une durée de maladie de 33 jours.

## CONCLUSION

Dans l'ensemble, l'étude a montré que l'épidémie de la fièvre aphteuse a engendré des pertes financières non négligeables dans les élevages bovins de la province du KénéDougou. Ces ont surtout été liées à la mortalité, à la production laitière, à la perte de force de travail et à la lutte contre cette maladie. En complément à la présente étude, une étude plus fine doit être entreprise afin d'évaluer à l'échelle nationale ces pertes en y incluant les pertes associées à la lutte contre la maladie au niveau des autorités vétérinaires.

## RÉFÉRENCES

- Ayebazibwe C., Tjørnehøj K., Mwiine F.N. Muwanika V.B., Okurut A.R.A., Siegismund H.R., Alexandersen S. (2010). Patterns, risk factors and characteristics of reported and perceived foot-and-mouth disease (FMD) in Uganda. *Tropical Animal Health and Production*, 42:1547–1559.
- Baluka SA (2016). Economic effects of foot and mouth disease outbreaks along the cattle marketing chain in Uganda. *Veterinary World*, 9: 544-53.
- Banda F., Kasanga C.J., Sallu R. Sinkala Y., Sinkombe T.W., Mulumba M., Rweyemamu M.M, Wambura P.N. (2014). Investigation of foot-and-mouth disease outbreaks in the Mbala and Kazungula districts of Zambia. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, 81: 1-6.
- Barasa M., Catley A., Machuchu D., Laqua H., Puot E., Tap Kot D., Ikiror D. (2008). Foot-and-Mouth Disease Vaccination in South Sudan: Benefit–Cost Analysis and Livelihoods Impact. *Transboundary and Emerging Diseases*, 55: 339–351.
- Bayissa B., Ayelet, G., Kyule M., Jibril Y., Gelaye E. (2011). Study on seroprevalence, risk factors, and economic impact of foot-and-mouth disease in Borena pastoral and agro-pastoral system, southern Ethiopia. *Tropical animal health and production*, 43: 759-766.
- Bayissa B., Ayelet, G., Kyule M., Jibril Y., Gelaye E. (2011). Study on seroprevalence, risk factors, and economic impact of foot-and-mouth disease in Borena pastoral and agro-pastoral system, southern Ethiopia. *Tropical animal health and production*, 43: 759-766.
- Ferrari G., Tasciotti L., Khan E., Kiani A. (2014). Foot-and-mouth disease and its effect on milk yield: An economic analysis on livestock holders in Pakistan. *Transboundary and Emerging Diseases*, 61: e52-e59.
- Goe M.R. (1987). Animal Traction on Smallholder Farms in the Ethiopian Highlands. Department of Animal Science, Cornell University, Ithaca, NY, USA.
- INSD, 2020. Annuaire statistique du Burkina Faso. INSD: Ouagadougou, 355p.
- James A., Rushton J. (2002). The economics of foot and mouth disease. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, 21: 637–644.
- Jemberu W.T., Mourits M.C.M., Woldehanna T., Hogeveen H. (2014). Economic impact of foot and mouth disease outbreaks on smallholder farmers in Ethiopia. *Preventive Veterinary Medicine*, 116: 26–36.
- Knight-Jones T.D.J., Rushton J. (2013). The economic impacts of foot and mouth disease—what are they, how big are they and where do they occur? *Preventive Veterinary Medicine*, 112: 161–173.
- MRA (2014). Annuaire Statistiques de l'élevage 2013-2014. [En ligne] [http://cns.bf/spip.php?id\\_rubrique=38&page=publdetails](http://cns.bf/spip.php?id_rubrique=38&page=publdetails) (page Consulté le 30/05/22)
- MRAH (2012). Annuaire Statistiques du sous-secteur de l'élevage. MRAH: Burkina Faso, 96 pages.
- Mulei C. M., Wabacha J.K., Mbithi P.M. (2001). Short-term economic impact of Foot and Mouth disease outbreak in a large Dairy Farm in Kiambu District, Kenya. *Kenya Veterinarian*, 22: 76-78.
- OIE (2018). Fiche OIE: Fièvre aphteuse. [En ligne]: <https://www.oie.int/fr/maladie/fievre-aphteuse/>
- PNUD (2012). Rapport Mondial sur le développement humain 2012. PNUD: Ouagadougou, 126p.
- Souley Kouato B., De Clercq K., Abatih E., Dal Pozzo F., King D.P., Thys E., Marichatou H., Saegerman C. (2018). Review of epidemiological risk models for foot-and-mouth disease: implications for prevention strategies with a focus on Africa. *PLoS one*, 13: e0208296.
- Souley Kouato B., Thys, E., Renault, V., Abatih, E., Marichatou, H., Issa, S., Saegerman, C. (2018). Spatio-temporal patterns of foot-and-mouth disease transmission in cattle between 2007 and 2015 and quantitative assessment of the economic impact of the disease in Niger. *Transboundary and emerging diseases*, 65: 1049-1066.
- Tadesse B., Tesfahun A., Molla W., Demisse E., Jemberu W.T. (2020). Foot and mouth disease outbreak investigation and estimation of its economic impact in selected districts in northwest Ethiopia. *Veterinary medicine and science*, 6: 122-132.

# Effet de la litière de biochar à base de rafles de maïs sur les performances zootechniques du poulet de chair au Nord Bénin

V.F.G.N. DEDEHOU<sup>1</sup>, S. H. SANNI WOROGO<sup>1</sup>, R. V. C. DIOGO<sup>1</sup>, M. B. BEHINGAN<sup>2</sup>, I. ALKOIRET TRAORE<sup>1</sup>

(Reçu le 05/10/2022; Accepté le 12/11/2022)

## Résumé

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'effet de l'utilisation du biochar à base de rafles de maïs sur les performances zootechniques des poulets de chair. A cet effet, 201 poussins de chair de souche Cobb 500 ont été répartis en trois lots de 67 poussins: un premier lot sur la litière constituée de 100% de rafles de maïs (Rafle); un deuxième lot constitué de 100% de litière de biochar (Biochar) et un troisième à litière constituée de 50% de rafles de maïs et 50% de biochar (Mixte). Les paramètres zootechniques tels que le GMQ, l'ingestion alimentaire, l'indice de consommation, la morbidité et la mortalité ont été relevés et les poids de certains organes déterminés après abattage. Les résultats indiquent une amélioration significative de l'ingestion alimentaire et du GMQ pour le lot Biochar comparé au lot Rafle en phase de croissance. Les poulets des lots Biochar et Rafles ont eu des pattes et des gésiers plus lourds que ceux du lot Mixte. L'usage de la litière au biochar a donc donné les meilleures performances zootechniques. Des analyses d'ordre économique et environnementale seront nécessaires pour promouvoir l'utilisation de cette biomasse comme litière en aviculture.

**Mots clés:** litière, biochar, rafles de maïs, Cobb 500, Bénin

## Effect of corn cobs biochar as litter on performance of broiler in northern Benin

### Abstract

This study aims to evaluate the effect of biochar from corn cobs on the performance of chickens. For this study, 201 broiler chicks from the Cobb 500 strain were divided into three batches of 67 chicks laid each on litter consisted of (i) 100% corn cobs (Rafle); (ii) 100% corn cobs biochar (Biochar) and (iii) 50% corn cobs plus 50% Biochar designated (Mixte). The performance parameters including live weight, feed consumption, feed consumption index, morbidity and mortality were monitored and the weight of some organs was measured. The result indicated a significant improvement in feed intake and average daily gain in the Biochar treatment compared to the 'Rafle' batch only during the growth phase. Chickens from the Biochar and 'Rafle' treatment had heavier legs and gizzards than those from the 'Mixte' litter. The use of biochar litter therefore gave the best performances. Economic and environmental analyzes are necessary to promote the use of these biomass as bedding in poultry farming.

**Keywords:** bedding materials, biochar, corncobs, Cobb 500, production, Benin

## INTRODUCTION

L'aviculture au Bénin, comme dans la plupart des pays d'Afrique subsaharienne, joue un rôle important dans l'alimentation de la population. Elle fournit de la viande et des œufs de volaille qui constituent des sources de protéines animales de haute qualité pour la population (FAO, 2013). Malgré ces avantages, l'aviculture est reconnue comme une source de nuisance environnementale. En effet, les fermes avicoles émettent des gaz dont l'ammoniac qui affecte la qualité de l'air, la santé des animaux et des éleveurs et entraîne une diminution de la productivité des performances de la volaille (Yahav, 2004, Rylander et Carvalho, 2006). Cet impact sur l'environnement a également des répercussions sur la santé et la qualité de vie des populations proches et éloignées des sites de production de la volaille (FAO, 2013). Ainsi, les enjeux liés à l'aviculture font de la gestion des effluents une considération essentielle pour le développement et la durabilité de la production avicole dans les zones urbaines et périurbaines.

Les émissions gazeuses sont d'importances variables selon le type et la qualité de litière utilisée de même que la gestion des effluents dans les poulaillers. Pour réduire les émissions gazeuses, plusieurs méthodes de traitement des litières ont été rapportées (Cook *et al.*, 2011). Il s'agit de l'utilisation de produits absorbant l'humidité, d'agents acidifiants et d'inhibiteurs microbiens. Les amendements de litière par les agents acidifiants ont été les plus étudiés et ont permis

de réduire la volatilisation de l'ammoniac durant les trois premières semaines d'élevage notamment (Moore *et al.*, 1996; Li *et al.*, 2008).

De nombreuses recherches ont été faites sur le biochar (produit carboné issu de la pyrolyse des biomasses agricoles) qui a montré sa capacité à absorber l'humidité et conserver les nutriments des fertilisants (Major *et al.*, 2009) et à les libérer lentement, et à réduire les émissions de carbone dans l'atmosphère par séquestration du carbone, de l'ammoniac et des dérivés NO<sub>x</sub>. Linhoss *et al.* (2019) indiquent que l'amendement de copeaux de bois de pin utilisés comme litière par l'application de son biochar n'a pas eu d'effets négatifs sur les performances et la santé des poulets de chair et peut améliorer la qualité de la litière grâce à une augmentation de l'absorption d'eau.

Il existe une grande diversité de matériaux utilisés comme litière en aviculture même si la paille broyée et les copeaux de bois sont les matériaux les plus utilisés en production de volailles de chair (Dennerly *et al.*, 2012). Boko *et al.* (2015) ont indiqué qu'au Bénin tous les aviculteurs faisaient de l'élevage au sol et que la litière était constituée de copeaux de bois dans la quasi-totalité (98,7%) des fermes. Cependant, les copeaux sont de plus en plus utilisés dans les filières bois-énergie (Glehouenou-Dossou *et al.*, 2007; Rousset *et al.*, 2014). L'utilisation de litières «alternatives» pourrait donc constituer une solution intéressante pour pallier les difficultés d'approvisionnement de certains élevages.

<sup>1</sup> Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, Bénin

<sup>2</sup> Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin

Les rafles de maïs sont une matière disponible au Bénin et dont l'utilisation comme alternative aux copeaux de bois pourrait être intéressante. En effet, le maïs (*Zea mays*) est la culture vivrière annuelle la plus cultivée au Bénin avec une production nationale de 1.611.615 tonnes en 2020 (FAOSTAT, 2022). Il est produit dans tous les départements du Bénin et occupe 70% de la superficie totale consacrée aux céréales. Il est la première denrée de base pour plus de 8 millions d'habitants, soit environ 80% de la population béninoise (Sikirou *et al.*, 2020). Cette étude a pour objectif de déterminer de l'effet de l'utilisation de la litière constituée de biochar à base de rafles de maïs sur les performances zootechniques des poulets de chair au Nord du Bénin.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Milieu d'étude

L'étude s'est déroulée dans la ville de Parakou, située dans le département du Borgou au Nord du Bénin. Elle est située à 9° 21' de latitude Nord et 2°36' de longitude Est. La commune de Parakou est limitée à l'Est, à l'Ouest et au Sud par la commune de Tchaourou et au Nord par la commune de N'Dali. Le climat est de type tropical humide caractérisé par une saison sèche de novembre à avril et une saison pluvieuse le reste de l'année. La hauteur moyenne annuelle des précipitations est de 1200 mm avec le maximum survenant en août. Les températures sont variables d'une saison à une autre. Le mois de décembre est le mois où les plus basses températures (19°C) sont enregistrées à Parakou (Kora et Guidibi, 2006; ASECNA, 2017).

### Dispositif expérimental et conduite des animaux

L'essai a été réalisé du 19 Avril au 31 Mai au 14 juin 2022 sur 201 poussins d'un jour de souche Cobb 500, d'un poids moyen de 37 g. Ces poussins ont été élevés dans trois différents poulaillers qui se distinguent les uns des autres par le type de litière utilisée:

- Un premier lot nommé Rafle avec une litière à 100% de rafles de maïs;
- Un deuxième lot Biochar avec une litière à 100% de biochar à base de rafles maïs et;
- Un troisième lot nommé Mixte avec une litière constituée par un mélange de rafles de maïs et de biochar (50:50%).

Une quantité identique de 5 kg/m<sup>2</sup> de litière a été mise en place pour chaque lot en début d'essai. Les poulaillers qui ont servi à l'expérimentation étaient de nouvelles constructions d'une superficie de 12 m<sup>2</sup> et qui n'avaient jamais abrité de volailles. Ils ont été lavés et désinfectés au sulfate et persulfate de potassium (Virunet) à la dose de 1% par pulvérisation deux semaines et deux jours avant l'installation des poussins après la mise en place de la litière. Le matériel d'élevage a été soigneusement lavé et désinfecté à l'eau de javel. A l'arrivée des poussins, un contrôle de routine a consisté en l'observation de l'état des pattes, du bec, de l'ombilic et de vivacité notamment.

Les animaux ont été nourris les douze premiers jours avec l'aliment commercial de démarrage poulet de chair du Groupe Veto Services (GVS). Du treizième jour à la fin de l'expérimentation, l'aliment commercial de croissance GVS a été utilisé. L'alimentation et l'abreuvement des oiseaux ont été fournis *ad libitum*. Le service de l'aliment a été fait deux fois par jour soit à 7 heures le matin et à 17 heures le soir.

### Collecte des données

Les quantités d'aliment servi et refusé ont été recueillies quotidiennement et les poids hebdomadairement pour la détermination de l'ingestion alimentaire et des gains moyens quotidiens (GMQ, g/j). Ces données ont été collectées à l'aide d'une balance numérique (Marque U, de portée 5 kg ± 1 g). L'ingestion alimentaire (g/jr/sujet) a été déterminée par la différence entre les quantités servies et les refus. Quant à l'indice de consommation, il a été déterminé en divisant la prise alimentaire totale moyenne par le gain de poids corporel total moyen.

Le taux de mortalité qui est le pourcentage de poulets morts durant la période d'élevage (42 jours) sur le nombre total de poulets, et le taux de morbidité qui est le pourcentage de poulets ayant été malades durant la période d'élevage sur le nombre total de poulets ont été déterminés pour chaque lot (Sanni, 2014).

Après 6 semaines d'âge, soit après quarante-deux (42) jours d'élevage, 10 animaux de chaque lot ont été abattus, plumés et éviscérés après enregistrement de leurs poids vifs corporels. Le poids carcasse et le poids des différents organes, notamment, le gésier vide, les pattes et la tête ont été enregistrés. La carcasse est représentée par le reste de l'oiseau après saignée, plumage, éviscération, enlèvement de la tête des pattes et de la graisse abdominale. La tête est séparée à la base de l'os occipital, les pattes à la jointure tibio-tarsale. La graisse abdominale est prélevée autour du gésier, de la bourse de Fabricius et sur la paroi abdominale, la graisse attachée à l'intestin étant exclue (Zein-El-Dein *et al.*, 1984).

### Analyses statistiques

Afin d'évaluer l'effet du traitement sur les paramètres zootechniques (ingestion alimentaire, gain moyen quotidien, indice de consommation, poids vifs corporels) une analyse de variance a été effectuée en cas de normalité. Lorsque la normalité n'était pas acquise, le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été réalisé. Lorsque la probabilité était significative ( $p < 0,05$ ), une structuration de moyenne a été faite avec la fonction SNK du package «agricolae» (de Mendiburu, 2021). La même procédure a été utilisée pour analyser les données relatives au poids des organes. Ensuite, le modèle linéaire généralisé de Poisson a permis d'évaluer l'effet du traitement sur le nombre d'animaux malades et le nombre d'animaux morts. La courbe de croissance pondérale a été réalisée à l'aide du package Hmisc (Harrell et Dupont, 2021).

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

### Effets des litières sur les performances zootechniques des poulets

Le changement de nature des litières (substitution totale ou à moitié des rafles de maïs par le biochar) n'a globalement pas eu d'effet significatif ( $p > 0,05$ ) sur l'ingestion alimentaire (Tableau 1), le gain moyen quotidien (Tableau 2) et l'indice de consommation (Tableau 3) pendant la phase de démarrage. Cependant, pendant la phase de croissance, une différence significative ( $p < 0,05$ ) a été observée pour ces paramètres entre les poulets du lot Biochar et ceux du lot Rafle. Ainsi, pendant la phase de croissance, l'ingestion alimentaire et le gain moyen quotidien ont été significativement plus élevés ( $p < 0,05$ ) dans le lot Biochar par rapport au lot Rafle.

Linross *et al.* (2019) ont indiqué que l'utilisation de litière constituée de copeaux de bois de pin amendée à  $0,97 \text{ kg/m}^2$  ou non avec du biochar n'a pas d'effet significatif sur les performances zootechniques des poulets de chair dans l'État du Mississippi. Ritz *et al.* (2011) en Géorgie, ont également rapporté que le biochar à base de coque d'arachide et ceux à base de copeaux de pin et coque de noix de coco (acidifiés par traitement à l'acide sulfurique) aux taux d'application de 0, 0,24, 0,37, et  $0,73 \text{ kg/m}^2$  n'ont pas influencé les performances zootechniques des poulets de chair. Il est à noter que contrairement à la présente étude, ces auteurs ont fait une application du biochar en surface de la litière et les conditions expérimentales ne sont pas les mêmes.

Les valeurs d'ingestion alimentaire obtenues dans cette étude sont inférieures à celles ( $98,7 \pm 0,125 \text{ g}$  à  $100 \pm 0,25 \text{ g}$ ) trouvées par Sanni (2014) chez les poulets de chair COBB 500. Il convient de souligner ici que les périodes et les lieux d'expérimentation ne sont pas les mêmes. Cet auteur a réalisé son expérimentation au Sénégal au cours des mois de novembre et de décembre. La diminution de l'ingéré enregistrée serait donc liée à la température élevée. Au-dessus de  $28^\circ\text{C}$ , la température abdominale augmente en fait avec la température extérieure et avec la quantité d'aliment consommée (Li *et al.*, 1992). La seule solution pour l'animal est donc de réduire sa consommation d'énergie.

Le poids vif corporel moyen des poulets obtenu dans cette étude est proche de la moyenne de  $1,60 \text{ kg}$  rapportée par Adzona *et al.* (2019) à six semaines d'âge chez des poulets de chair de même souche. Sanni (2014) ont quant à eux rapporté pour la même souche de poulets de chair des poids vifs supérieurs à  $2 \text{ kg}$  après six semaines d'élevage avec des gains moyens quotidiens variant entre  $48,1 - 49,6 \text{ g}$  en fonction de la nature de la litière. On pourrait dire que cette faiblesse de performance serait liée à la faible ingestion alimentaire dans la présente étude qui pourrait être elle-même due au fait que l'expérimentation s'est déroulée à

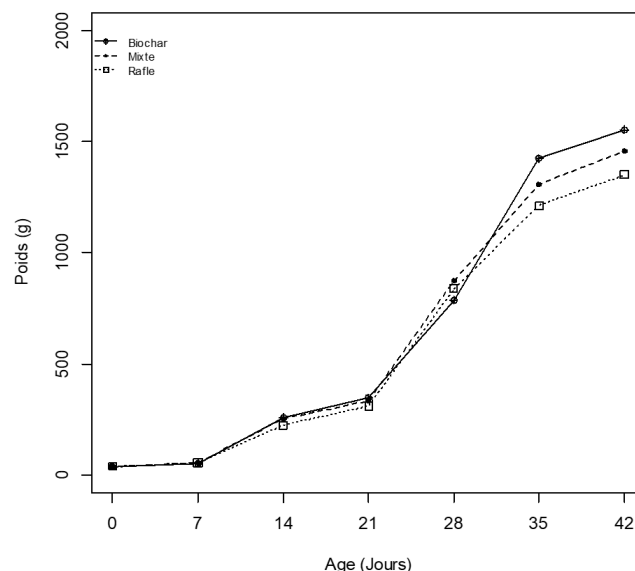


Figure 1: Évolution du poids vif corporel des poulets en fonction du type de litière

la fin de la saison sèche et au début de la saison pluvieuse, qui constitue une période chaude. Cependant, selon Dale et Fuller (1979), la diminution de l'ingéré n'est que partiellement responsable de la baisse de production enregistrée en climat chaud.

Les indices de consommation globaux obtenus sur la période d'élevage pour les différents lots dans cette étude sont meilleurs que 2,5 et 2,7 rapportés par Sanni (2014). Ceci montre une meilleure valorisation de l'aliment dans la présente expérimentation. Étant donné que dans cette étude, les conditions d'élevage, la souche de poussins et l'alimentation ont été identiques pour tous les lots et que la seule différence a été le type de litière, ce dernier facteur aurait un impact significatif sur les performances de croissance des poulets de chair.

Tableau 1: Ingestion alimentaire des poulets élevés sur différents types de litières (g/sujet/jour)

Phases	Ingestion alimentaire			P
	Rafle	Biochar	Mixte	
Démarrage	$24,3^a \pm 2,94$	$22,7^a \pm 2,89$	$23,4^a \pm 3,02$	0,927
Croissance	$73,4^b \pm 4,47$	$92,8^a \pm 5,93$	$78,5^{ab} \pm 4,93$	0,027

Différentes lettres sur la même ligne indiquent des différences significatives au seuil de 5% entre les litières pour l'ingestion alimentaire.

Tableau 2: Gain moyen quotidien des poulets élevés sur différents types de litières (g/jour)

Phases	Gain moyen quotidien			P
	Rafle	Biochar	Mixte	
Démarrage	$16,4^a \pm 0,67$	$18,4^a \pm 0,71$	$17,9^a \pm 0,76$	0,052
Croissance	$47,1^b \pm 2,69$	$54,0^a \pm 3,45$	$50,3^{ab} \pm 3,93$	0,025

Différentes lettres sur la même ligne indiquent des différences significatives au seuil de 5% entre les litières pour le gain moyen quotidien.

Tableau 3: Variation de l'indice de consommation (GMS/kg poids) des poulets de chair en fonction du type de litière

Phases	Indice de consommation			P
	Rafle	Biochar	Mixte	
Démarrage	$1,79^a \pm 0,15$	$1,84^a \pm 0,11$	$1,67^a \pm 0,20$	0,556
Croissance	$2,10^a \pm 0,17$	$2,12^a \pm 0,09$	$2,05^a \pm 0,11$	0,743

Différentes lettres sur la même ligne indiquent des différences significatives au seuil de 5% entre les litières pour l'indice de consommation.

L'effet du type de litière a été hautement significatif ( $p < 0,001$ ) sur la morbidité et significatif ( $p < 0,05$ ) sur la mortalité des poulets. Pour les deux paramètres le lot Biochar a eu les plus bas taux (Figure 2 et Figure 3).

Le lot Rafle a eu le taux de morbidité le plus élevé avec un taux de morbidité globale supérieure à 30%.

Les taux de mortalité obtenus durant toute la période d'élevage ont été respectivement de 2,98% dans le lot Biochar, 4,48% dans le lot Mixte et 14,9% dans le lot Rafle. Le lot Rafle a donc connu une mortalité trois fois supérieure à celle des autres lots. Les taux de mortalité obtenus dans cette étude sont supérieurs à 1,4% et 1,6% rapportés par Linhoss *et al.* (2019) avec des litières de bois de pin amendé ou non au biochar sur une période d'élevage de 35 jours. Pour ce qui concerne les lots Biochar et Mixte, les taux de mortalité sont voisins de la moyenne de 3,67% rapporté par Sanni (2014). Le lot Rafle qui a le taux de mortalité le plus élevé est aussi le lot où l'ingestion alimentaire et la croissance pondérale sont plus faibles. Cette tendance est contraire à celle indiquée par Koffi (2011) et Sanni (2014).

Selon ces auteurs, la mortalité est élevée dans les lots où la consommation alimentaire et la prise de poids ont été les plus importantes. Le biochar et les rafles de maïs amendées au biochar (Mixte) constitueraient donc des milieux de vie plus favorables aux poulets.

**Effets des litières sur le rendement après abattage**

Les variations du poids de la carcasse et des organes en fonction du type de litière sont résumées dans le Tableau 4. Il en découle que le type de litière n'a pas influencé de façon significative ( $p > 0,05$ ) le poids de la carcasse, de la tête et de la graisse abdominale.

Les résultats concernant la carcasse corroborent ceux de Sanni (2014) où la variation de la nature de la litière n'a eu aucun effet sur le poids carcasse des poulets de chair Cobb 500. Des résultats rapportés par Ricard et Marche (1988) chez des poulets de chair Cornish x White Rock élevés au sol, il ressort que le poids de la tête et le poids du gésier sont significativement influencés par la densité et le sexe alors que celui des pattes l'est uniquement par le sexe.

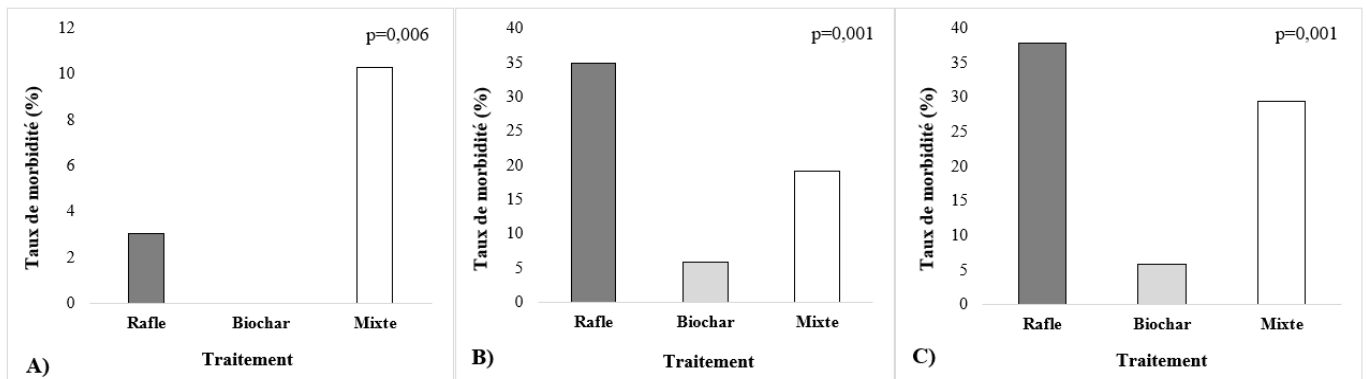


Figure 2: Variation du taux de morbidité des poulets en fonction du type de litière  
Légende: A = Démarrage; B = Croissance; C = Global

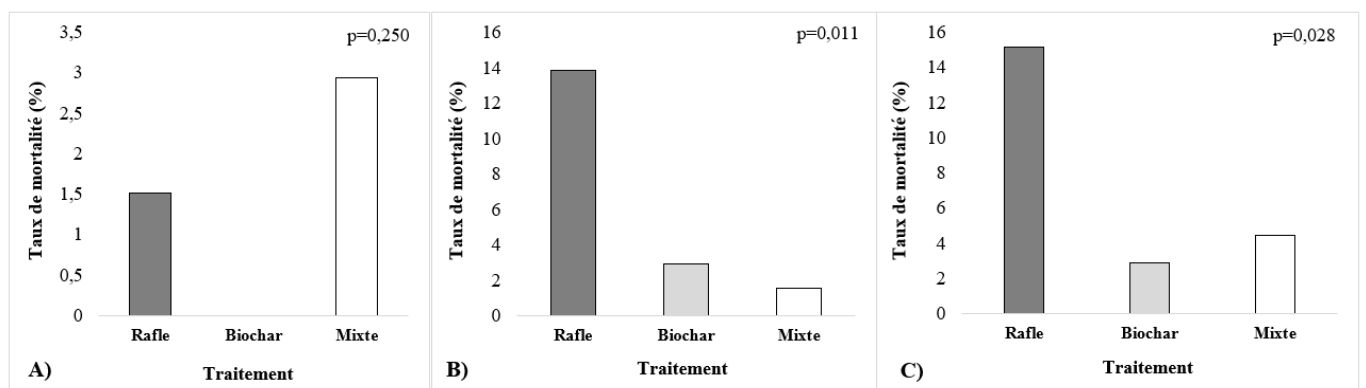


Figure 3: Variation du taux de mortalité des poulets en fonction du type de litière  
Légende: A = Démarrage; B = Croissance; C = Global

Tableau 4: Rendement d'abattage des poulets après six semaines d'élevage

Paramètres	Rendement après abattage			P
	Raffles	Biochar	Mixte	
PV (g)	1352 <sup>b</sup> ± 79,6	1554 <sup>a</sup> ± 75,9	1460 <sup>ab</sup> ± 94,3	0,044
PC (g)	719 <sup>a</sup> ± 26,6	664 <sup>a</sup> ± 27,4	680 <sup>a</sup> ± 43,2	0,191
Tête (g)	31,1 <sup>a</sup> ± 1,1	32,9 <sup>a</sup> ± 2,06	28,4 <sup>a</sup> ± 2,32	0,260
Pattes (g)	55,5 <sup>a</sup> ± 2,57	55,5 <sup>a</sup> ± 4,09	44,3 <sup>b</sup> ± 3,29	0,039
Graisse abdominale (g)	24,4 <sup>a</sup> ± 2,35	22,6 <sup>a</sup> ± 2,2	20,2 <sup>a</sup> ± 2,26	0,435
Gésier (g)	19,5 <sup>b</sup> ± 1,26	17,5 <sup>ab</sup> ± 1,43	13,7 <sup>a</sup> ± 1,43	0,019

PV: Poids Vif corporel; PC: Poids Carcasse. Les lettres a, b, c sur la même ligne indiquent des différences significatives au seuil de 5% entre les litières pour la même variable.

Des différences significatives ont été observées au niveau des pattes et du gésier ( $p < 0,05$ ). Ainsi, les poulets du lot Mixte ont eu les plus faibles valeurs pour ces organes. Selon Guédou *et al.* (2016), la différence de poids de gésiers chez des coquelets nourris avec 4 variétés de grains de maïs serait due au fait que ces derniers infligeraient à cet organe des efforts différents pour leur digestion. L'augmentation de poids du gésier correspondrait à une amélioration de sa fonctionnalité (Carré *et al.*, 2015). Les poulets élevés sur la litière contenant du biochar auraient pu ingérer le biochar, ce qui favoriserait le broyage de l'aliment et faciliterait sa digestion.

## CONCLUSION

Le type de litière a influencé les paramètres zootechniques mesurés au cours de cette expérimentation. Ainsi, le biochar a permis d'avoir les plus grandes valeurs pour l'ingestion alimentaire et le gain moyen quotidien pendant la phase de croissance. Le biochar a également induit une baisse significative de la morbidité et de la mortalité des poulets. Après abattage, seuls les poids des pattes et du gésier ont été plus faibles avec la litière mixte. Le biochar de rafles de maïs permet donc d'avoir de meilleures performances zootechniques chez le poulet de chair et pourrait donc être utilisé comme litière en aviculture.

## RÉFÉRENCES

Adzona, P.P., Bonou, G.A., Bati, J.B., Ndinga, F.A., Onzomoko, L.D., Itoua, P.L., Kiki, P.S., Dotchet, I.O., Banga-Mboko, H., Yousso, A.K. (2019). Influence du tourteau de sésame en alimentation fractionnée séparée et séquentielle sur les performances zootechniques et économiques du poulet de chair standard de la souche Cobb 500. *Revue Internationale des Sciences Appliquées*, 2: 1-11.

ASECNA (Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne) (2017). Climatologie, Statistiques sur la climatologie. févr-2017.

Boko, M.A., Dougnon, T.V., Bankolé, H.S., Dougnon, T.J., Ahouangninou, C., Cledjo, P., Soumanou, M. (2015). Pratiques d'élevage avicole au Sud-Bénin (Afrique de l'Ouest) et impacts sur l'hygiène des fumiers produits. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9: 2740-2753.

Carré, B., Méda, B., Juin, H. (2015). Bénéfices et contraintes de la sélection génétique du poulet de chair pour une croissance rapide. *INRA Productions Animales*, 28: 305-314.

Cook, K.L., Rothrock, M.J., Eiteman, M.A., Lovanh, N., Sistani, K. (2011). Evaluation of nitrogen retention and microbial populations in poultry litter treated with chemical, biological or adsorbent amendments. *Journal of Environmental Management*, 92: 1760 – 1766.

Dale, N.M., Fuller, H.L. (1979). Effects of Diet Composition on Feed Intake and Growth of Chicks under Heat Stress. I. Dietary Fat Levels. *Poultry Science*, 58: 1529-1534.

de Mendiburu, F. (2021). *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package version 1.3-5. <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>

Dennery, G., Dezat, E., Rousset, N. (2012). Vers une gestion efficace des litières, de l'approvisionnement aux techniques d'élevage avicole. Chambre Régionale d'Agriculture des Pays-de-la-Loire et de Bretagne, ITAVI, 48 pages.

FAO (2013). Poultry development review. Animal Production and Health Division. 127 pages

FAO (2015). Secteur Avicole Bénin. Revues nationales de l'élevage de la division de la production et de la santé animales de la FAO No. 10. Rome.

FAOSTAT. (2022). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Consulté le 24/09/2022.

Glehouenou-Dossou B., Akossou, R., Dossou, K.M.R. (2007). Rapport sur les Technologies de production du bois-énergie. Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature, République du Bénin. Version finale, juin 2007. 105 pp.

Guedou, M.S.E., Houndonougbo, M.F., Chrysostome, C.A.A.M., Mensah, G.A. (2016). Performances zootechniques et économiques de coquelets nourris avec des aliments à base de quatre variétés de grains de maïs au Bénin. *Revue CAMES*, 4: 45 – 51.

Koffi, H.H.A. (2011). Effets de l'incorporation des fines d'attapulгите calcinées dans la litière sur son évolution physico-chimique et microbiologique et les performances du poulet de chair. Thèse de Doctorat en Médecine Vétérinaire, École Inter-États des Sciences et Médecine Vétérinaires, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 9, 110 p.

Kora, O., Guidibi, E. (2006). Monographie de la commune de Parakou. Cotonou, Cabinet Afr. Cons., pp. 1 – 44.

ASECNA (Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne) (2017): Climatologie, Statistiques sur la climatologie, févr-2017.

Li, H., Xin, H., Liang, Y., Burn, R.T. (2008). Reduction of ammonia emissions from stored laying hen manure through topical application of zeolite, Al<sup>+</sup>Clear, Ferix-3, or poultry litter treatment. *Journal of Applied Poultry Research*, 17: 421-431.

Li, Y., Ito, T., Nishibori, M., Yamamoto, S. (1992). Effects of environmental temperature on heat production associated with food intake and on abdominal temperature in laying hens. *Br. Poultry Science*, 33: 113-122.

Linhoss John E., Purswell Joseph L., Street Jason T., Rowland Matthew R. (2019). Evaluation of Biochar as a Litter Amendment for Commercial Broiler Production. *Journal of Applied Poultry Research*, 28: 1089-1098.

Major, J., Steiner, C., Downie, A., Lehmann, J. (2009). Biochar effects on nutrient leaching. Dans Lehmann, J. et Joseph, S., *Biochar for Environmental Management; Science and Technology*, 1<sup>ère</sup> édition. Earthscan, London et Washington, p. 271 - 287.

Moore, P.A., Daniel, T.C., Edwards, D.R., Miller D.M. (1996). Evaluation of chemical amendments to reduce ammonia volatilization from poultry litter. *Poultry Science*, 75: 315-320.

Ricard F.H., Marche, G. (1988). Influence de la densité d'élevage sur la croissance et les caractéristiques de carcasse de poulets élevés au sol. *Annales de zootechnie, INRA/EDP Sciences*, 37: 87-98.

Ritz, C.W., Tasistro, A.S., Kissel, D.E., Fairchild, B. (2011). Evaluation of surface-applied char on the reduction of ammonia volatilization from broiler litter. *Journal of Applied Poultry Research*, 20: 240-245.

Rousset, N., Guingand, N., Dezat, E., Lagadec, S., Jegou, J.-Y., Dennery, G., Chevalier, D., Boulestreau-Boulay, A.-L., Dabert, P., Berraute, Y., Allain, E., Maillard, P., Adjé, K., Hassouna, M., Robin, P., Ponchant, P., Aubert, C. (2014). Les litières en élevage: identification, test et évaluation des techniques ou des pratiques consistant à mieux gérer les litières avec moins de matériaux. *Innovations Agronomiques*, 34: 403-415.

Rylander, R., Carvalheiro, M.F. (2006). Airways inflammation among workers in poultry houses. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 79: 487-490.

Sanni, J.Y. (2014). Effets d'une litière à base d'attapulгите calcinée, sur les performances de croissance du poulet de chair. Thèse de doctorat en médecine vétérinaire, École Inter-États des Sciences Et Médecine Vétérinaires De Dakar, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 88 p.

Sikirou, R., Nakouzi, S., Adanguidi, J., Bahama, J. (2020). Manuel technique de protection du maïs en culture et en stockage au Bénin. Cotonou. 96 pp.

Yahav, S. (2004). Ammonia affects performance and thermoregulation of male broiler chickens. *Anim. Res.*, 53: 289-293.

Zein-El-Dein, A., Mérat, P. Bordas A. (1984). Composition corporelle de poulets "Cou nu" ou normalement emplumés selon le taux protéique de la ration. *Génétique sélection évolution, INRA Editions*, 16: 491-502.

## Remerciements

Les auteurs remercient chaleureusement The World Academy of Sciences (TWAS) et Islamic Development Bank (IsDB) pour le financement de cette étude à travers le programme de bourse postdoctorale 2021 pour les femmes en sciences.

# Risque de transmission potentielle des infections bactériennes par les mouches synanthropes en zone urbaine de Côte d'Ivoire

David KOMONO<sup>1</sup>, Biégo Guillaume GRAGNON<sup>2</sup>, Lydie Aya KOFFI<sup>3</sup>

(Reçu le 27/08/2022; Accepté le 05/09/2022)

## Résumé

Du 11 janvier au 25 février 2022, des mouches ont été capturées dans la ville de Korhogo, en zone soudanaise de Côte d'Ivoire. Le but était d'évaluer le rôle potentiel de ces mouches dans la transmission des infections bactériennes aux hommes et aux animaux dans la zone urbaine. Les captures ont été opérées à l'aide d'un piège aseptisé à appât alimentaire, dans quatre types d'écosystèmes (restaurants, cantines scolaires, marchés, abattoirs, lieux d'élevage). Deux espèces de mouches synanthropes ont été capturées et identifiées: *Musca domestica* et *Chrysomya albiceps*. Elles ont permis de caractériser, au laboratoire, 7 espèces de bactéries: *Escherichia coli*, *Salmonella* sp., *Proteus* sp., *Klebsiella* sp., *Staphylococcus* sp., *Bacillus* sp. et *Pseudomonas* sp. Il en résulte que, dans la ville de Korhogo, le risque de contamination bactérienne est élevé, particulièrement en zones d'élevage et dans les restaurants. Le risque est tout aussi important, mais à un degré moindre et dans des proportions comparables, dans les marchés et les abattoirs. Au niveau des cantines scolaires, le risque apparaît le plus faible. Cependant, les enfants courent toujours un danger parce que les proportions des mouches synanthropes et des bactéries pathogènes qui y circulent, restent notables.

**Mots clés:** Mouches synanthropes, Bactéries, Zone urbaine, Côte d'Ivoire

## Risk of potential transmission of bacterial infections by synanthropic flies in urban areas of Côte d'Ivoire

### Abstract

From 11 January to 25 February 2022, flies were caught in the city of Korhogo, in the Sudanese area of Côte d'Ivoire. The aim was to assess the potential role of these flies in the transmission of bacterial infections to humans and animals in urban areas. Catches were made using a sanitized food bait trap in four types of ecosystems (restaurants, school canteens, markets, slaughterhouses, livestock areas). Two species of synanthropic flies were captured and identified: *Musca domestica* and *Chrysomya albiceps*. They were used to characterize 7 species of bacteria in the laboratory: *Escherichia coli*, *Salmonella* sp., *Proteus* sp., *Klebsiella* sp., *Staphylococcus* sp., *Bacillus* sp. and *Pseudomonas* sp. The result is that the risk of bacterial contamination in the town of Korhogo is high, especially in livestock areas and restaurants. The risk is just as great, but to a lesser extent and in comparable proportions, in markets and slaughterhouses. In school canteens, the risk appears to be the lowest. However, children are still in danger because the proportions of synanthropic flies and pathogenic bacteria that circulate there remain significant.

**Keywords:** Synanthropic flies, Bacteria, Urban area, Côte d'Ivoire

## INTRODUCTION

Les mouches sont des arthropodes de la classe des insectes, appartenant à l'ordre des diptères (Roth, 1980). L'une de leurs caractéristiques principales est qu'elles se nourrissent et se reproduisent sur divers déchets organiques, pour la plupart dans les matières organiques en décomposition (Forey et Fitzsimons, 1992). Ce sont des insectes qui cohabitent avec les hommes, ainsi qu'avec les animaux en élevage (Blaak *et al.*, 2014; Thomson *et al.*, 2017). Capables de voyager sur une distance de près de 1,5 kilomètre (Barro *et al.*, 2006), les mouches font des va-et-vient entre les déchets organiques, les enclos des animaux et les habitations humaines (Patricia et Claudio, 2008; Blaak *et al.*, 2014; Thomson *et al.*, 2017). De ce fait, elles sont considérées comme des vecteurs potentiels des maladies infectieuses telles que la dysenterie, la diarrhée du nourrisson, la typhoïde, les intoxications alimentaires, le choléra et les helminthiases (Sasaki *et al.*, 2000; Graczyk *et al.*, 2001; Barro *et al.*, 2006; Shashi *et al.*, 2013). Enfin, les mouches ont aussi été identifiées comme étant des agents de propagation des infections pathogènes chez les animaux en élevage (Dee, 2003; Ahmad *et al.*, 2007; Pitkin *et al.*, 2009).

En Afrique subsaharienne, la croissance urbaine est très rapide et mal contrôlée (Antoine *et al.*, 1987), due principalement à une croissance démographique également

rapide et très élevée (Tabutin, 1991). Les infrastructures d'assainissement deviennent alors très vite inadaptées. Il en résulte des problèmes environnementaux (Feachem *et al.*, 1980, Mouchet, 1991) qui se traduisent par une accumulation des déchets ménagers, l'apparition de nombreux dépotoirs sauvages et la stagnation des eaux usées ou polluées dans de nombreux quartiers urbains (Koanda, 2006; Eyébiyi, 2010). L'environnement insalubre ainsi généré devient alors un écosystème favorable à la pullulation des populations mouches (Nyassogbo, 2005; Babio *et al.*, 2016; N'tamon, 2020).

En Côte d'Ivoire, différents travaux portant sur l'insalubrité de l'environnement en milieu urbain sont disponibles (Antoine, 1987; Attahi, 2001; Kassoum, 2007; Gnangui A., 2010; Coulibaly *et al.*, 2018). Cependant, ces données ne renseignent pas sur l'implication des mouches dans les contaminations liées aux infections bactériennes. La présente étude est donc une contribution pour aider à combler ce gap. Elle vise, en effet, à déterminer le rôle potentiel des mouches dans la transmission des maladies bactériennes aux hommes et aux animaux dans la zone urbaine à Korhogo. C'est une agglomération qui a connu un développement fulgurant ces vingt dernières années, suite aux troubles politico-militaires survenus dans le pays à partir des années 2000.

<sup>1</sup> UFR-Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup> Laboratoire Régional de Korhogo, Côte d'Ivoire

<sup>3</sup> Centre d'Entomologie médicale et Vétérinaire, Université Alassane Ouattara de Bouaké, Côte d'Ivoire

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Zone d'étude

La ville de Korhogo (9°27'00.0"N - 5°37'60.0"W) est le Chef-lieu de la région administrative du Poro située au nord de la Côte d'Ivoire en zone soudanaise. Le climat est du type soudano-guinéen, caractérisé par une alternance de deux saisons (Eldin, 1971): i) une saison sèche de novembre à avril, marquée par une période d'harmattan entre décembre et janvier, et par des pics de chaleur en mars et avril; ii) une saison des pluies qui s'étend de mai à octobre, avec des précipitations maximales en juillet et août. Par ailleurs, les hauteurs de pluies sont comprises entre 1200 mm et 1400 mm d'eau par an. La température moyenne est de 26,5°C. L'humidité relative est de l'ordre de 83,1% (Anonyme, 2012).

La population de la ville de Korhogo est estimée à 286 071 habitants (Anonyme, 2015), répartis dans 35 quartiers. Cependant, les investigations se sont déroulées dans 20 quartiers. Ce sont ceux qui abritaient au moins un site de grande affluence humaine ou animale (restaurant, cantine scolaire, marché, abattoir, lieu d'élevage). Les 20 quartiers visités sont : Ahoussabougou, Air-France, Banaforo, Belleville, Cocody, Kassirimé, Koko-Sud, Latonon, quartier Lycée Houphouët Boigny, Natiokobadara, Nouveau-quartier, Ossiéné, Petit Paris, Résidentiel 1, Résidentiel 3, Sinistré, Soba, Tchékélézo, Téguré et Zone industrielle (Figure 1).

### Méthode et techniques

Les investigations se sont déroulées du 11 janvier au 25 février 2022. Sur le terrain, les mouches ont été capturées

au moyen d'un piège aseptisé, à appât alimentaire, confectionné à partir d'un modèle proposé par la Commission de lutte antiparasitaire des Forces armées américaines (Anonyme, 2002). La taille de l'échantillon attendue a été déterminée à partir de la formule suivante, standardisée sur la base des données sur des souches de *Salmonella* et d'*Escherichia coli* prélevées dans les selles de bovin (Satin et Shastry, 1993):

$$n = \frac{Z^2 \times P(1-p)}{e^2}$$

$n$  est la taille de l'échantillon;  $Z = 1,96$  est une constante issue de la loi normale pour un seuil de confiance de 95%;  $P$  est la prévalence attendue de souches de *Salmonella* et de *E. coli* dans les selles de bovin au cours de cette étude;  $e$  représente la marge d'erreur choisie (5%).

Ainsi, pour un écart-type de 50%, la taille de l'échantillon =  $(1,96^2 \times 0,5(1-0,5))/0,05^2 = 384$ , soit 385 mouches.

Le matériel de capture a été confectionné à partir d'un bidon en plastique d'une capacité de 1,5 L. La partie supérieure du bidon, long de 3 cm, a été inversée pour former un cône menant dans le corps du bidon. Un appât constitué de boyaux de poulets faisandés, laissé en fermentation pendant 24 heures, est placé à l'intérieur du bidon. Les boyaux ont été entourés de coton stérile pour éviter une éventuelle contamination des mouches capturées. Les pièges ainsi construits ont été posés à même le sol ou suspendus à un support, pendant au moins une heure de temps, puis visités pour ramasser les mouches attrapées. La collecte a été faite en un seul passage dans chaque lieu de piégeage. Les mouches récoltées ont été conditionnées par site de capture, dans des sacs plastiques stérilisés portant une étiquette sur

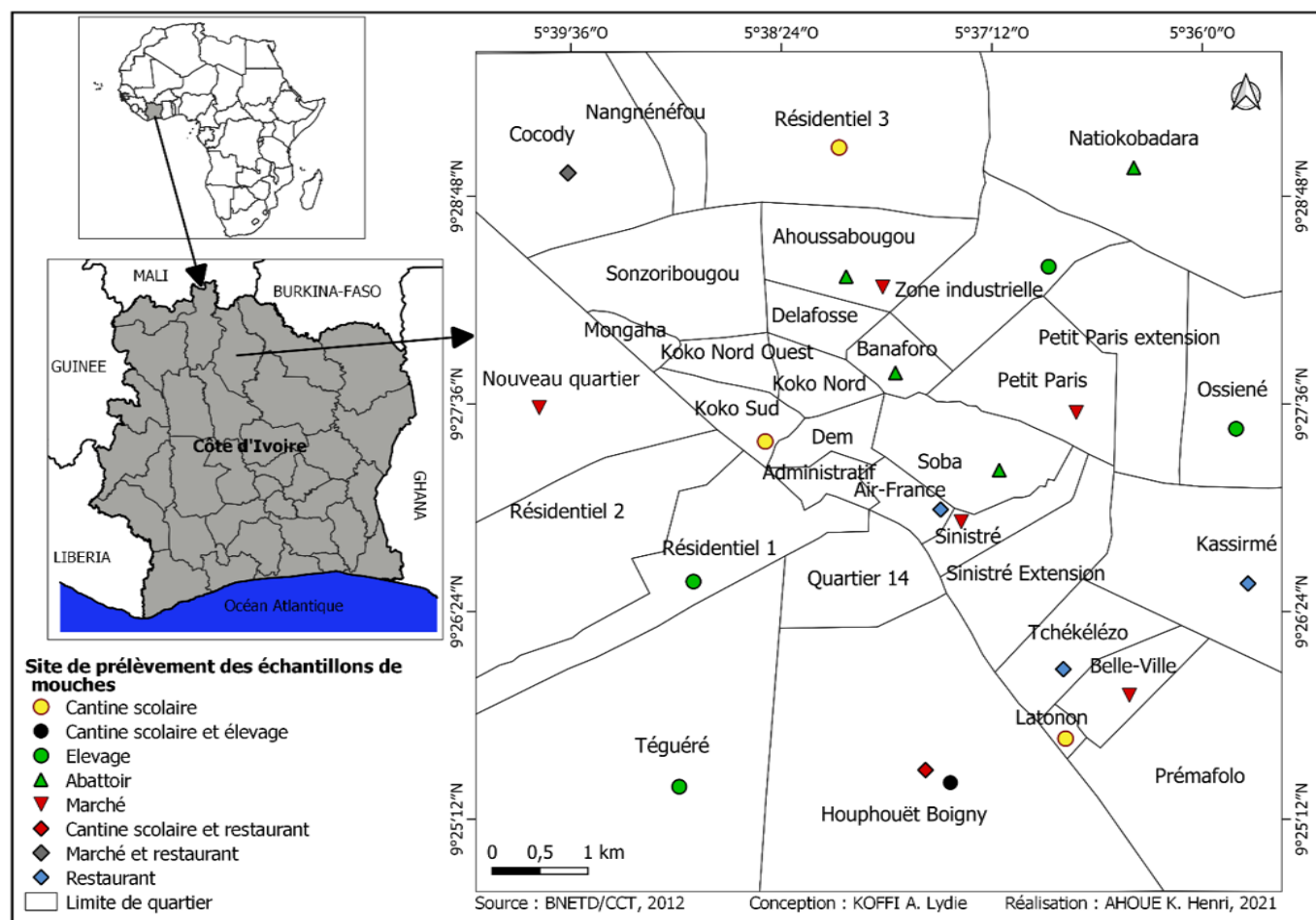


Figure 1: Présentation de la ville de Korhogo et localisation des sites d'étude



laquelle sont mentionnés le lieu, la date et les coordonnées géographiques du lieu de piégeage. A la fin des collectes, l'ensemble des échantillons sont placés dans une glacière à froid, puis transportés immédiatement dans ces conditions, au Laboratoire Régional de Korhogo (LRK) du LANADA.

Au laboratoire, les mouches ont été anesthésiées au froid dans un congélateur pendant 15 minutes, puis identifiées à l'aide de clé (Couri, 2007; Whitworth, 2010; Rochefort *et al.*, 2015). Pour chaque espèce de mouche identifiée, des pools de 10 spécimens choisis de manière aléatoire, ont été constitués. A partir de chaque pool de mouches, les bactéries ont été d'abord mises en suspension dans 10 ml d'eau peptonée à 37°C pendant deux heures. Ensuite, les germes bactériens ont été purifiés sur des milieux de culture. Trois niveaux de culture ont été pratiqués successivement. Les deux premiers ont utilisés le milieu gélosé Tryptone Soja Agar (TSA), puis le milieu Maconkey (MC) et, à chaque fois, à 37°C pendant 24 heures. Le troisième niveau de culture a consisté à purifier les bactéries sur des milieux spécifiques (Chapman, Gélose Hektoen, Milieu Eosine Bleu de Méthylène).

Puis, les bactéries purifiées ont été d'abord caractérisées par observation au microscope à immersion x100, ensuite à l'aide de tests biochimiques (Paolozzi, 2019). Au microscope, les observations ont été faites sur des germes mis en culture sur Gélose Nutritive (GN) pendant 24 heures et la coloration de Gram (Carr *et al.*, 2002). Les critères considérés sont la taille et la forme des colonies, leur arrangement, les caractéristiques de taille et de forme des cellules bactériennes qu'il s'agisse de coque ou de bacille, la présence ou non de spores et leur coloration de Gram. En ce qui concerne les tests biochimiques, ceux pratiqués sont les suivants:

- Le test de mise en évidence de l'enzyme respiratoire, la catalase qui, en présence de colonies de bactéries, se manifeste par un dégagement de bulles de gaz (Tortora *et al.*, 2003);
- Le test de Mannitol mobilité qui révèle la fermentation des sucres en présence de colonies de bactéries, se traduisant par le passage du milieu contenant du bleu de bromothymol, de la coloration verte à la coloration jaune (Marchal *et al.*, 1987);
- Le test de mise en évidence de la réduction des nitrates par les bactéries (Test de nitrate réductase) qui se traduit, à la fin du test, par un milieu incolore (Tortora *et al.*, 2003);
- Le test de mise en évidence du citrate qui se forme en présence de bactéries ensemencées dans un milieu en tubes inclinés et mises en incubation pendant 24 à 72 heures à 37°C; le test positif se traduit par un changement de couleur de l'indicateur de pH, le bleu de bromothymol qui vire au bleu.

La fréquence d'isolement des souches de bactéries sur les mouches a été calculée selon la formule suivante, proposée par Ancelle (2017):

$$\text{Fréquence} = \frac{\text{Effectif (n) de l'espèce de bactéries isolées}}{\text{Total de bactéries isolées}} \times 100$$

Les analyses statistiques ont été faites à partir des tests de  $\chi^2$  ou Fisher Exact. Ces tests ont permis de comparer les fréquences d'isolement des souches de bactéries selon les paramètres étudiés (espèce de bactérie, souche de bactérie, espèce de mouche, site de capture des mouches).

## RÉSULTATS

Au total, 412 mouches ont été collectées par piégeage, dans l'environnement urbain à Korhogo. Cet effectif qui va au-delà des prévisions de 385 mouches calculées, atteste de la fiabilité des données issues du protocole d'investigation suivi. Les collectes ont permis d'identifier deux espèces de mouches: *Musca domestica* Linnaeus 1758 et *Chrysomya albiceps* Wiedemann 1819. *M. domestica* représente 62,6% des récoltes. Toutefois, les deux espèces (*M. domestica*, *C. albiceps*) ont été régulièrement capturées dans tous les écosystèmes urbains exploités, dans des proportions variant de 10,9% à 27,4% (Tableau 1).

**Tableau 1: Fréquences des mouches capturées par espèce et par type d'écosystème dans la ville de Korhogo (Côte d'Ivoire)**

Écosystème	<i>Musca domestica</i>	<i>Chrysomya albiceps</i>	TOTAL
Restaurants	9,0%	18,4%	27,4%
Cantines scolaires	6,3%	9,4%	15,8%
Marchés	14,1%	5,1%	19,2%
Abattoirs	1,9%	9,0%	10,9%
Lieux d'élevage	18,7%	8,0%	26,7%
<b>Total</b>	<b>62,6%</b>	<b>37,4%</b>	<b>100,0%</b>

Globalement, les mouches semblent plus fréquentes dans des proportions comparables, aussi bien dans les zones de restauration (27,4%) qu'aux lieux d'élevage (26,7%). Ailleurs, elles apparaissent moins fréquentes, mais également dans des proportions comparables, dans les zones de marchés (19,2%) et les cantines scolaires (15,3%). Les mouches présentent des fréquences plus faibles au niveau des abattoirs (10,9%). Dans tous les cas, *M. domestica* est majoritaire dans chaque écosystème exploité, sauf au niveau des abattoirs et des cantines scolaires. Au niveau des abattoirs, l'espèce *C. albiceps* domine. Au niveau des cantines scolaires avec des fréquences inférieures à 10%, *M. domestica* et *C. albiceps* s'observent dans des proportions comparables ( $p < 0,0001$ ).

Au total, 196 souches de bactéries ont été purifiées à partir des spécimens de *M. domestica* et *C. albiceps* capturées. Ces souches de bactéries ont permis d'identifier 7 espèces de germes, répartis en quatre colonies (Tableau 2).

**Tableau 2: Fréquences des isollements des bactéries par espèces chez les mouches synanthropes dans la zone urbaine à Korhogo (Côte d'Ivoire)**

Colonies	Espèces	Nombre	Pourcentage
Entérobactéries	<i>Escherichia coli</i>	45	23,0%
	<i>Salmonella sp.</i>	45	23,0%
	<i>Proteus sp.</i>	23	11,7%
	<i>Klebsiella sp.</i>	8	4,1%
Cocci Gram positif	<i>Staphylococcus sp.</i>	31	15,8%
Bacille Gram négatif non fermentaire	<i>Pseudomonas sp.</i>	18	9,2%
Bacille Gram positif	<i>Bacillus sp.</i>	26	13,3%
<b>TOTAL</b>		<b>196</b>	<b>100,0%</b>

Les Entérobactéries sont les plus représentées avec 4 espèces (*Escherichia coli* Migula 1895, *Salmonella* sp. Lignières 1900, *Proteus* sp. Hauser 1885, *Klebsiella* sp. Trevisan 1885). Elles constituent 61,7% des germes bactériens caractérisés. Les Entérobactéries sont suivies par les Cocci Gram positif (15,8%) et les Bacilles Gram positif (13,3%). Les Bacilles Gram négatif non fermentaires (9,2%) sont les moins représentées ( $p < 0,0001$ ).

Considérées par espèce, les Entérobactérie *E. coli* (23,0%) et *Salmonella* sp. (23,0%) sont, à proportions égales, les espèces les plus fréquentes. Elles sont suivies en cela, successivement, par *Staphylococcus* sp. Rosenbach 1884 Cocci Gram positif (15,8%), *Bacillus* sp. Ehrenberg 1835 Bacille Gram positif (13,3%), l'Entérobactérie *Proteus* sp. Hauser, 1885 (11,7%) et par le bacille Gram négatif non fragmentaire *Pseudomonas* sp. Migula 1894. L'Entérobactérie *Klebsiella* sp. (4,1%) est le taxon le moins fréquent dans la ville de Korhogo ( $p < 0,0001$ ).

De façon significative ( $p < 0,0001$ ), *M. domestica* est l'espèce la plus infectée par les bactéries (58,7%), par rapport à *C. albiceps* contaminée à 41,3%. De plus, toutes les espèces de bactéries identifiées apparaissent majoritairement plus fréquentes chez *M. domestica*, sauf la bactérie Cocci Gram positif *Staphylococcus* sp. qui présente des proportions comparables chez les deux espèces de mouches *M. domestica* et *C. albiceps*, ainsi que la Bacille Gram positif *Bacillus* sp. qui apparaît majoritaire chez la mouche *C. albiceps* (Figure 2).

Au niveau des écosystèmes exploités, les mouches et les bactéries sont dans des proportions comparables aux lieux d'élevage et dans les zones de marchés. Dans les restaurants et au niveau des cantines scolaires, les mouches prédominent les bactéries du point de vue des fréquences. Dans les abattoirs, les bactéries présentent des fréquences plus élevées que les mouches (Figure 3).

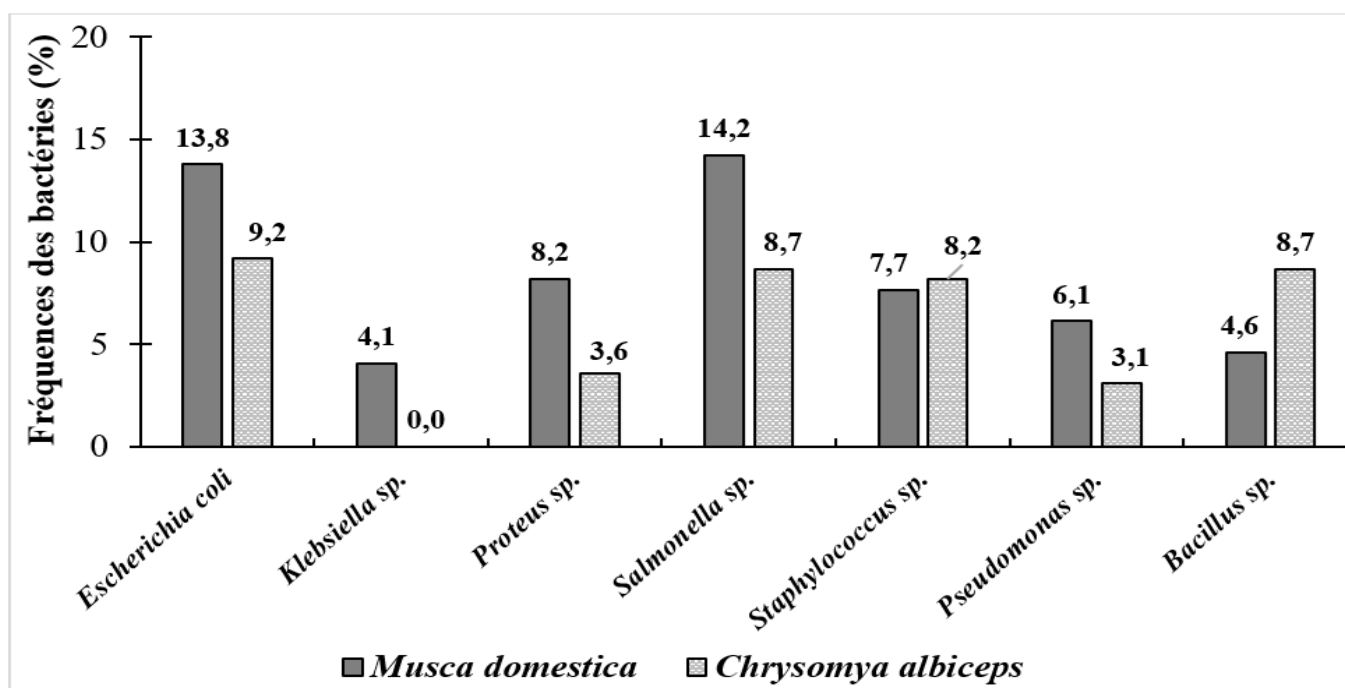


Figure 2: Fréquences des isolations des bactéries par espèces de mouches synanthropes en zone urbaine à Korhogo (Côte d'Ivoire)

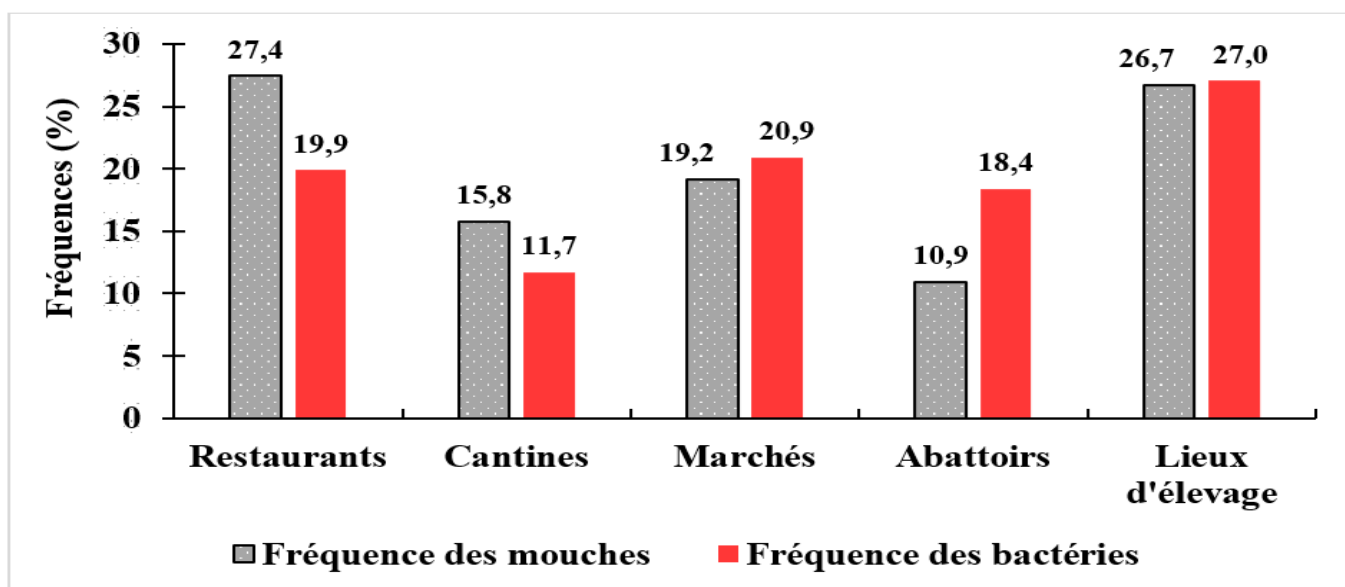


Figure 3: Comparaison des fréquences des mouches synanthropes et des bactéries selon les écosystèmes exploités en zone urbaine à Korhogo (Côte d'Ivoire)

Les espèces de bactéries *E. coli*, *Salmonella* sp. et *Pseudomonas* sp. circulent dans tous les écosystèmes exploités, contrairement aux autres taxons. En effet, *Klebsiella* sp. est absente au niveau des cantines et des abattoirs. *Bacillus* sp. n'a pas été observée également dans les zones de restaurants. *Proteus* sp. ne semble pas non plus fréquenter les marchés et *Klebsiella* sp., n'a pas été enregistrée au niveau des abattoirs. Enfin, on note l'absence de deux espèces de bactéries au niveau des cantines scolaires. Il s'agit de *Klebsiella* sp. et *Staphylococcus* sp. (Figure 4).

## DISCUSSION

*M. domestica*, communément appelée mouche domestique, est une espèce synanthrope, c'est-à-dire, vivant étroitement en association avec l'homme, capable d'accomplir tout son cycle biologique dans les habitations humaines et les enclos des animaux (Adenusi et Adewoga, 2013; Smallegange et Den Otter, 2007). Il existe une grande variété de mouches synanthropes très répandues dans le monde (Blanchot, 1995). Mais, la mouche domestique *M. domestica* apparaît l'espèce la plus commune (Hussein et John, 2014; Ommi et al., 2015). Cette espèce a été trouvée avec *C. albiceps* dans la zone urbaine de Korhogo. *M. domestica* est souvent récoltée en abondance dans les zones d'activités humaines (marchés alimentaires, abattoirs, restaurants, fermes d'élevage), en couple avec des espèces du genre *Chrysomya*. Dans ce cas, les populations de *M. domestica* sont en général majoritaires (Dawaye et al., 2021). Ainsi, au Togo (Bawa et al., 2017) et en Thaïlande (Kabkaew et al., 2007; Chaiwong et al., 2014), par exemple, *M. domestica* a été capturée dans l'écosystème urbain avec, respectivement, *C. chloropyga* et *C. megacephala*. Au Cameroun, *M. domestica* était dans les collectes avec *C. putoria*.

Les mouches synanthropes sont toujours porteuses de nombreuses espèces de bactéries (Echeverria et al., 1983; Khalil et al., 1994; Blanchot, 1995; Tsagaan et al., 2015; Nassiri et al., 2015). N'étant pas piqueuses (Baker, 2007), les mouches s'infectent généralement en pénétrant dans les ordures, les eaux usées, les cadavres et les excréments qui sont recouverts de germes bactériens. Les agents pathogènes sont alors transportés sur l'exosquelette ou peuvent

être régurgités et transmis aux hôtes humains ou animaux à travers les dépôts fécaux (Levine et Levine, 1991; Kobayashi et al., 1999; Graczyk et al., 2000; Graczyk et al., 1999). D'abondants travaux ont montré l'implication des mouches dans la transmission des maladies d'origine bactérienne à l'homme et aux animaux (Watt et Lindsay, 1948; Lindsay et al., 1953; Greenberg, 1964; Greenberg, 1973; Bidawid et al., 1978; Rosef et al., 1983; Khin Nwe et al., 1989; Cohen et al., 1991; Khalil et al., 1994; Chavasse et al., 1999; Levine et al., 1999; Sukontason et al., 2000a; Sukontason et al., 2000b; Sukontason et al., 2007; Graczyk et al., 2003; Szostakowska et al., 2004; Collinet-Adler et al., 2015). Mais, les preuves de cette observation sont souvent circonstancielles. Les données de preuve les plus évidentes qui existent en la matière, sont basées sur la corrélation entre l'augmentation de l'incidence des maladies diarrhéiques et celle des populations de mouches (Levine et Levine, 1991; Nichols, 2005; Farag et al., 2013; Khan et Akram, 2014). Ainsi, dans les écosystèmes où les conditions d'hygiène sont précaires, les maladies gastro-intestinales caractérisées surtout par des diarrhées, se manifestent beaucoup plus intensément pendant les périodes de pullulation des mouches synanthropes (Feachem, 1984). Les mouches contaminent alors leurs hôtes, par voie mécanique, au cours de leur dispersion (De Jesús et al., 2004; Foil et Gorham, 2004; Barro et al., 2006; Patricia et Claudio, 2008; Blaak et al., 2014; Sarwar, 2015; Fisher et al., 2017; Thomson et al., 2017).

En général, *M. domestica* est toujours parasitée par des agents pathogènes fatales pour la santé humaine et animale, dont la grande majorité sont des germes bactériens (Greenberg et al., 1970; Oo et al., 1989; Alam et Zurek, 2004; Szalanski et al., 2004; Holt et al., 2007; Förster et al., 2009; Davari et al., 2010; Doud et Zurek, 2012; Wasala et al., 2013; Fleming et al., 2014; Waheed et al., 2014; Zurek et Ghosh, 2014; Solà-Ginés et al., 2015; Awache et al., 2016; Bahrndorff et al., 2017; Nazari et al., 2017; Songe et al., 2017; Khamesipour et al., 2018). Quant à *C. albiceps*, c'est un agent de transmission secondaire des myiases, qui peut transmettre aussi des bactéries pathogènes aux hommes et aux animaux (Zumpt, 1965; Greenberg, 1971; Guimarães et Papavero, 1999).

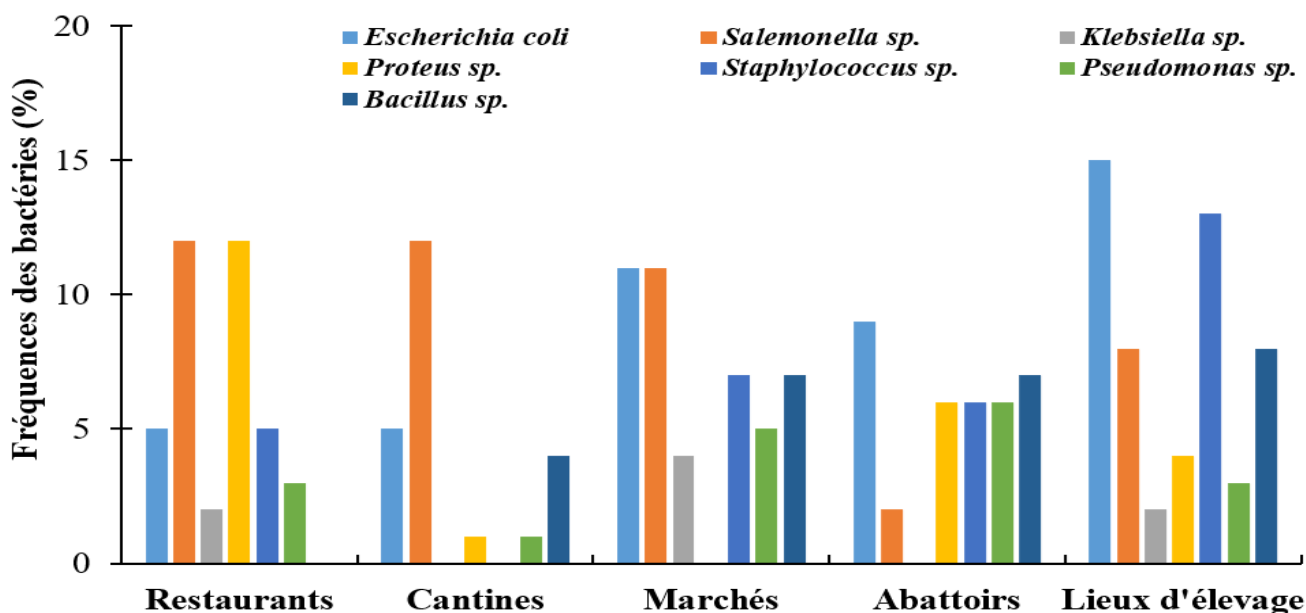


Figure 4: Comparaison des fréquences des espèces de bactéries selon les écosystèmes exploités en zone urbaine à Korhogo (Côte d'Ivoire)

Ainsi, du fait que *M. domestica* soit commune et la plus répandue des mouches synanthropes (Hussein *et al.*, 2014; Ommi *et al.*, 2015), sa présence en forte proportion dans les écosystèmes exploités témoigne déjà de l'existence d'un risque élevé de transmission des infections bactériennes dans la ville de Korhogo. De plus, pour Collinet-Adler *et al.* (2015), dans un environnement donné, les densités des mouches et des infections bactériennes sont élevées en absence de meilleures conditions d'assainissement, en présence d'une forte densité humaine et dans les zones d'élevage. Ces facteurs environnementaux favorisent, en effet, la pullulation des bactéries pathogènes. Ainsi, dans la ville de Korhogo, les zones d'élevage et, à un degré moindre les abattoirs, apparaissent comme des endroits de risque élevé de transmission des infections bactériennes. Toutes les espèces de bactéries trouvées à Korhogo y sont représentées. Dans les zones de circulation humaine (restaurants, cantines scolaires, marchés), ce sont respectivement les restaurants et les marchés qui présentent ce risque. Le risque est présent pour six espèces de bactéries dans les restaurants et dans les marchés. Au niveau des cantines scolaires, particulièrement, le risque de transmission des infections bactériennes y apparaît certes le moins élevé par rapport à ce qui est observé dans les autres écosystèmes, mais il demeure notable. Dans cet écosystème, en effet, cinq sur les sept espèces de bactéries identifiées sont incriminées dans les risques d'infections humaines et animales à Korhogo. Cela semble indiquer que, dans les cantines scolaires, les conditions d'hygiène imposées à travers les règles établies par les autorités gouvernementales ne sont pas suffisamment respectées.

En tout état de cause, les infections auxquelles sont exposées les populations humaines et les animaux dans la zone urbaine de Korhogo, sont les suivantes (Bodey *et al.*, 1983; Ristuccia et Cunha, 1984; Sliman *et al.*, 1987; Griffin et Tauxe, 1991; Kushwaha *et al.*, 2014; Popa et Papa, 2021):

- *Escherichia coli* – Infections intestinales, infections urinaires, méningite, septicémie.
- *Salmonella* sp. – Gastroentérites.
- *Proteus* sp. – Infections urinaires.
- *Klebsiella* sp. – Infections des voies urinaires, infections des voies respiratoires.
- *Staphylococcus* sp. – Infections diverses contractées à l'hôpital.
- *Pseudomonas* sp – Infections externes légères (touchant l'oreille ou les follicules pileux), infections internes sévères (affectant les poumons, la circulation sanguine ou les valves cardiaques).
- *Bacillus* sp. – Intoxications alimentaires, infections localisées liées aux traumatismes (infections oculaires), infections profondes des tissus mous, infections systémiques (méningite, endocardite, ostéomyélite et bactériémie...).

Le principal moyen de lutte contre les infections bactériennes a été, de tout temps, la prévention basée sur l'éducation sanitaire (Vieu, 1987; OMS, 2010). Pourtant, ces infections continuent d'être un problème de santé publique important, surtout dans les pays à revenu faible ou intermédiaire (OMS, 2002; Barreiro *et al.*, 2013), mais aussi à cause des phénomènes de résistance des germes aux antibiotiques (Gür et Unal, 2001; Borg *et al.*, 2009; Hemmatinezhad *et al.*, 2015; Akter *et al.*, 2020). Ainsi, au-delà des pratiques standards de lutte contre les infections dues aux micro-organismes, des voix s'élèvent de plus en

plus pour prôner l'intégration de la notion de «conscience sanitaire» dans les stratégies pour renforcer la lutte (Dédry Séri, 2016; Dedy Séri *et al.*, 2021). Selon ce concept, en effet, l'homme doit admettre et agir en conséquence, que sa santé lui est précieuse et que sa préservation dépendra de son éducation en la matière, de la qualité de ses rapports avec la société et, indéniablement, du respect des mesures édictées en faveur de la protection de l'environnement (Dédry Séri, 2013).

## CONCLUSION

Dans la zone urbaine de Korhogo, les deux espèces de mouches synanthropes, *M. domestica* et *C. albiceps* qui s'y développent, représentent un risque de transmission des infections bactériennes à l'homme et aux animaux. Leurs proportions sont notables dans tous les écosystèmes exploités (restaurants, cantines scolaires, marchés, abattoirs, lieux d'élevage). En cela, *M. domestica* constitue le vecteur majoritaire.

Les lieux d'élevages présentent le risque le plus élevé en matière de transmission des infections bactériennes par les mouches. La situation est également alarmante au niveau des restaurants, puis des marchés qui eux, par ailleurs, présentent des conditions comparables à celles des zones d'abattoir. Au niveau des cantines scolaires, particulièrement, même si le risque de transmission des infections bactériennes apparaît le plus faible, les enfants sont cependant toujours en danger parce que les proportions de mouches et de bactéries pathogènes qui y circulent, restent notables.

Les données de l'étude de Korhogo constituent une preuve supplémentaire de la nécessité de rechercher de nouveaux moyens plus efficaces pour combattre les infections dues aux micro-organismes. L'appel des spécialistes à œuvrer pour l'intégration de façon pratique, du concept de «conscience sanitaire» dans les stratégies de lutte, s'inscrit dans cette perspective.

## RÉFÉRENCES

- Adenusi A.A., Adewoga T.O.S., (2013). Human intestinal parasites in non-biting synanthropic flies in Ogun State, Nigeria. *Travel Med. Infect. Dis.*, 11: 181-189.
- Ahmad A., Nagaraja T.G., Zurek L. (2007). Transmission of *Escherichia coli* O157: H7 to cattle by house flies. *Preventive Veterinary Medicine*, 80: 74-81.
- Akter S., Sabuj A.A.M., Haque Z.F., Rahman M.T., Kafi M.A., Saha S. (2020). Detection of antibiotic-resistant bacteria and their resistance genes from houseflies. *Veterinary World*, 13: 266-274.
- Alam M.J., Zurek L. (2004). Association of *Escherichia coli* O157:H7 with houseflies on a cattle farm. *Appl. Environ. Microbiol.*, 70: 7578-7580.
- Ancelle T. (2017). Statistiques-épidémiologie. Maloine (4<sup>e</sup> Ed.), 352p.
- Armed Forces Pest Management Board (2002). Filth Flies: significance and control in contingency operations. Technical Guide, 30, 55p.
- Anonyme (2012). Rapport d'activités 2012. Ministère de l'agriculture, Direction régionale des savanes, 53p.
- Anonyme (2015). Recensement général de la population et de l'habitat (RGPH) 2014: Répertoire des localités. Région du Poro. Institut National de la Statistique, Côte d'Ivoire, 52p.
- Antoine P., Dubresson A., Manou-Savina A. (1987). Abidjan «côté cours». Pour comprendre la question de l'habitat. Karthala, 276p.
- Attahi K. (2001). Gestion des déchets urbains, Abidjan. In: Onibokun, A. G (dir), Gestion des déchets urbains. Des solutions pour l'Afrique. CRDI-Karthala, Paris: 10-37.

- Babio S., Baloubi M.D., Houssou S.C. (2016). Perceptions des nuisances environnementales liées aux déchets solides ménagers dans les centres urbains du Nord-Bénin: cas des villes de Parakou, Djougou, Kandi et Malanville. *European Scientific Journal*, 12: 349-365.
- Bahrndorff S., De Jonge N., Skovgård H., Nielsen J.L. (2017). Bacterial communities associated with houseflies (*Musca domestica* L.) sampled within and between farms. *PLoS One*, 12: e0169753.
- Baker D.G. (2007). *Flynn's Parasites of Laboratory Animals*. Second edition. Blackwell Publishing, USA, 813p.
- Barro N., Aly S., Tidiane O.C., Sababénédjo T.A. (2006). Carriage of bacteria by proboscises, legs, and feces of two species of flies in street food vending sites in Ouagadougou, Burkina Faso. *J. Food Prot.*, 69: 2007-2010.
- Bawa R.A., Koffi A., Gbogbo Y.P., Hoekou E.M., Yaovi N., Glitho I.A. (2017). Bactéries et moisissures associées à *Musca domestica* L. et à *Chrysomya chloropyga* Wied. collectées sur deux sites à environnements différents de la ville de Lomé. *Journal of Applied Biosciences*, 120: 12027-12035.
- Bidawid S.P., Edeson J.F., Ibrahim J., Matossian R.M. (1978). The role of non-biting flies in the transmission of enteric pathogens (*Salmonella* species and *Shigella* species) in Beirut, Lebanon. *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, 72: 117-121.
- Blaak H., Hamidjaja R.A., Van Hoek A.H.A.M., De Heer L., De Roda Husman A.M., Schets F.M. (2014). Detection of extended-spectrum Beta-Lactamase (ESBL) - Producing *Escherichia coli* on flies at poultry farms. *Appl. Environ. Microbiol.*, 80: 239-246.
- Blanchot P. (1995). Inventaire des parasitoïdes de mouches synanthropes recensés en France. *EPHE, Biol. Evol. Insectes*, 7: 111-119.
- Bodey G., Bolivar R., Fainstein V., Jadeja L. (1983). Infections caused by *Pseudomonas aeruginosa*. *Reviews of Infectious Diseases*, 5: 279-313.
- Carr F.J., Chill D., Maida N., (2002). The lactic acid bacteria: A literature survey. *Crit. Rev Microbiol.*, 28: 281-370.
- Chaiwong T., Srivoramas T., Sueabsamran P., Sukontason K., Sanford K.L., Sukontason M.R. (2014). The blow fly, *Chrysomya megacephala*, and the house fly, *Musca domestica*, as mechanical vectors of pathogenic bacteria in Northeast Thailand. *Trop. Biomed.*, 31: 336-346.
- Chavasse D.C., Shier R.P., Murphy O.A., Huttly S.R., Cousens S.N., Akhtar T. (1999). Impact of fly control on childhood diarrhoea in Pakistan: community-randomised trial. *Lancet*, 353: 22-25.
- Cohen D., Green M., Block C., Slepon R., Ambar R., Wasserman S.S., Levine M.M. (1991). Reduction of transmission of shigellosis by control of houseflies (*Musca domestica*). *Lancet*, 337: 993-997.
- Collinet-Adler S., Babji S., Francis M., Kattula D., Premkumar P.S., Sarkar R., Mohan V.R., Ward H., Kang G., Balraj V., Naumova E.N. (2015). Environmental factors associated with high fly densities and diarrhea in Vellore, India. *Appl. Environ. Microbiol.*, 81: 6053-6058.
- Coulibaly M., Tuo P., Aké-Awomon D.F. (2018). Insalubrité et maladies infectieuses dans les quartiers précaires de Yopougon Gesco-Attii: cas de Judé, Mondon et Ayakro (Abidjan, Côte d'Ivoire). *Revue Espace, Territoires, Sociétés et Santé*, 1: 46-65.
- Couri S.M. (2007). A key to the afrotropical genera of Muscidae (Diptera). *Revista Brasileira de Zoologia*, 24: 175-184.
- Davari B., Kalantar E., Zahirmia A., Moosa-Kazemi S.H. (2010). Frequency of resistance and susceptible bacteria isolated from houseflies, Iran. *J. Arthropod Borne Dis.*, 4: 50-55.
- Dawaye D.A., Djaouda M., Bakwo Fils E.M. (2021). Diversité des mouches synanthropes et leur potentiel de transmission des maladies diarrhéiques à Maroua (Extrême-Nord, Cameroun). *Pan African Medical Journal*, 38.
- De Jesús A.J., Olsen A.R., Bryce J.R., Whiting R.C. (2004). Quantitative contamination and transfer of *Escherichia coli* from foods by houseflies, *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae). *Int. J. Food Microbiol.*, 93: 259-2562.
- Dédy Séri. (2013). Sida et société. *Rss-Psres*, 1: 44-56.
- Dédy Séri. (2016). Pratiques à risque pour la santé et conscience sanitaire des populations en Afrique subsaharienne: Cas de la Côte d'Ivoire. *Cah. Santé Publique*, 15: 90-102.
- Dedi Seri F., Lolowu H. K. F., Issiaka K., Azalou-Tingbe A. (2021). Conscience historique et conscience sanitaire en Afrique: qu'attendre des sciences sociales face à la Covid-19. Presses de l'Université d'Abomey-Calavi (PUAC), 532 p.
- Dee S. (2003). International pig letter, January 2003, 22 (11).
- Doud C.W., Zurek L. (2012). Enterococcus faecalis OG1RF: pMV158 Survives and proliferates in the house fly digestive tract. *J. Med. Entomol.*, 49:150-155.
- Echeverria P., Harrison B.A., Tirapat C., McFarland A. (1983). Flies as a source of enteric pathogens in a rural village in Thailand. *Appl. Environ. Microbiol.*, 46: 32-36.
- Eldin M. (1971). Le climat de la Côte d'Ivoire. In: le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mém. ORSTOM, 50, Paris, 73-108.
- Eyébily E. (2010). Gérer les déchets ménagers en Afrique: le Bénin entre local et global. L'Harmattan, Paris, 244p.
- Farag T.H., Faruque A.S., Wu Y., Das S.K., Hossain A., Ahmed S., Ahmed D., Nasrin D., Kotloff K.L., Panchilangam S., Nataro J.P., Cohen D., Blackwelder W.C., Levine M.M. (2013). Housefly population density correlates with Shigellosis among children in Mirzapur, Bangladesh: a time series analysis. *PLoS Negl Trop Dis.*, 7: e2280.
- Feachem R., Bradley D., Garelick H., Mara D.D. (1980). Health aspects of excreta and sillage management. World Bank, Washington D.C., 318p.
- Feachem R.G. (1984). Interventions for the control of diarrhoeal diseases among young children: promotion of personal and domestic hygiene. *Bulletin of the World Health Organization*, 62 : 467-475.
- Fisher M.L., Fowler F.E., Denning S.S., Watson D.W. (2017). Survival of the house fly (Diptera: Muscidae) on truvia and other sweeteners. *J. Med. Entomol.*, 54: 999-1005.
- Fleming A., Kumar H.V., Joyner C., Reynolds A., Nayduch D. (2014). Temporospatial fate of bacteria and immune effector expression in house flies (*Musca domestica* L.) fed. GFP- *E. coli* O157:H7. *Med. Vet. Entomol.*, 28: 364-371.
- Foil L.D., Gorham J.R. (2000). Mechanical transmission of disease agents by arthropods, pp. 461-514. In : Bruce F. Eldridge, John D. Edman. Medical entomology: a textbook on public health and veterinary problems caused by arthropods. Springer Netherlands, 659p.
- Forey P., Fitzsimons C. (1992). Les insectes. Ed. Gründ, 121p.
- Förster M., Messler S., Pfeffer K., Sievert K. (2009). Synanthropic flies as potential transmitters of pathogens to animals and humans. *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie*, 17: 327-329.
- Gnangui A. (2010). La politique de l'environnement dans les capitales africaines: le cas de la ville d'Abidjan en Côte d'Ivoire. L'Harmattan, Paris, 277p.
- Graczyk T.K., Cranfield M.R., Fayer R., Bixler H. (1999). House flies (*Musca domestica*) as transport hosts of *Cryptosporidium parvum*. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 61: 500-504.
- Graczyk T.K., Fayer R., Knight R., Mhangami-Ruwende B., Trout J.M., Da Silva A.J., Pieniazek N.J. (2000). Mechanical transport and transmission of *Cryptosporidium parvum* oocysts by wild filth flies. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 63:178-183.
- Graczyk T.K., Knight R., Gilman R.H., Cranfield M.R. (2001). The role of non-biting flies in the epidemiology of human infectious diseases. *Microbes Infect.*, 3: 231-235.
- Graczyk T.K., Grimes B.H., Knight R., Da Silva A.J., Pieniazek N.J., Veal D.A. (2003). Detection of *Cryptosporidium parvum* and *Giardia lamblia* carried by synanthropic flies by combined fluorescent *in situ* hybridization and a monoclonal antibody. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 68: 228-232.
- Greenberg B. (1964). Experimental transmission of *Salmonella typhimurium* by houseflies to man. *Am. J. Hyg. (Lond.)*, 80:149-156.

- Greenberg B., Kowalski J.A., Klowden M.J. (1970). Factors affecting the transmission of *Salmonella* by flies: natural resistance to colonization and bacterial interference. *Infect Immun.*, 2: 800–809.
- Greenberg B. (1971). Flies and disease. I. Ecology classification and biotic associations. Princeton University Press: 16-55.
- Greenberg B (1973). Flies and disease. II. Biology and disease transmission. Princeton University Press, 460p.
- Griffin P.M., Tauxe R.V. (1991). The epidemiology of infections caused by *Escherichia coli* O157: H7, other enterohemorrhagic *E. coli*, and the associated hemolytic uremic syndrome. *Epidemiol. Rev.*, 13: 60-98.
- Guimarães J.H., Papavero N. (1999). Myiasis in man and animals in the neotropical region. Pléiade/FAPESP, São Paulo, 308p.
- Hemmatinezhad B., Ommi D., Hafshejani T.T., Khamesipour F. (2015). Molecular detection and antimicrobial resistance of *Pseudomonas aeruginosa* from houseflies (*Musca domestica*) in Iran. *J. Venom Anim Toxins Incl. Trop. Dis.*, 21:18.
- Holt P.S., Geden C.J., Moore R.W., Gast R.K. (2007). Isolation of *Salmonella enterica* serovar Enteritidis from houseflies (*Musca domestica*) found in rooms containing *Salmonella* serovar Enteritidis-challenged hens. *Appl. Environ Microbiol.*, 73: 6030–6035.
- Hussein S.A., John L.C. (2014). Housefly, *Musca domestica* Linnaeus (Insecta: Diptera: Muscidae). *Inst. Food. Agric. Scie.*, 47: 1–7.
- Kabkaew L.S., Manasanant B., Banyong K., Somsa P., Yupha R., Kom S. (2007). Comparison between *Musca domestica* and *Chrysomya megacephala* as carriers of bacteria in northern Thailand. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health*, 38: 38–44.
- Kassoum T. (2007). De la sensibilisation des populations à la gestion de l'environnement urbain dans les quartiers précaires de la ville d'Abidjan. *Étude de la Population Africaine*, 22: 153-173.
- Khalil K., Lindblom G.B., Mazhar K., Kaijser B. (1994). Flies and water as reservoirs for bacterial enteropathogens in urban and rural areas in and around Lahore, Pakistan. *Epidemiol. Infect.*, 113: 435–444.
- Khamesipour F., Lankarani K.B., Honarvar B., Kwenti T.E. (2018). A systematic review of human pathogens carried by the housefly (*Musca domestica* L.). *BMC Public Health*, 18:1049.
- Khan H.A.A., Akram W. (2014). The effect of temperature on the toxicity of insecticides against *Musca domestica* L.: Implications for the effective management of diarrhea. *PLoS One*, 9: e95636.
- Khin Nwe O., Sebastian A.A., Aye T. (1989). Carriage of enteric bacterial pathogens by house flies in Yangon, Myanmar. *J. Diarrhoeal Dis. Res.*, 7: 81–84.
- Koanda H. (2006). Vers un assainissement urbain durable en Afrique subsaharienne: approche innovante de planification de la gestion des boues de vidange. Thèse de Doctorat ès Sciences, École Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse), 311p.
- Kobayashi M., Sasaki T., Saito N., Tamura K., Suzuki K., Watanabe H., Agui N. (1999). Houseflies: not simple mechanical vectors of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 61: 625–629.
- Kushwaha K., Babu D., Juneja V.K. (2014). Proteus. In: Encyclopedia of Food Microbiology (2<sup>nd</sup> Ed.), Eds. Batt C.A., Tortorello M.L., Oxford: Academic Press: 238–243.
- Levine M.M., Cohen D., Green M., Levine O.S. et Mintz E.D. (1999). Fly control and shigellosis. *Lancet*, 353: 10-20.
- Levine O.S., Levine M.M. (1991). Houseflies (*Musca domestica*) as mechanical vectors of shigellosis. *Rev. Infect. Dis.*, 13: 688–696.
- Lindsay D.R., Stewart W.H., Watt J. (1953). Effect of fly control on diarrheal disease in an area of moderate morbidity. *Public Health Rep.*, 68: 361–367.
- Marchal N., Bourdon J-L., Richard C. (1987). Les Milieux de culture: Pour l'isolement et l'identification biochimique des bactéries (Biologie appliquée), Doin (3<sup>e</sup> Ed.), 505p.
- Mouchet J. (1991). Les maladies liées à l'eau dans la région Afrotropicale. Colloque pluridisciplinaire Géographie-Médecine sur l'eau et la santé en Afrique tropicale, Limoges, octobre, PULIM: 47-59.
- N'tamou E.A. (2020). Gestion des déchets ménagers dans les communes d'Adjamé et de Bingerville dans le district autonome d'Abidjan, Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 16: 36-50.
- Nassiri H., Zarrin M., Veys-Behbahani R., Faramarzi S., Nasiri A. (2015). Isolation and identification of pathogenic filamentous fungi and yeasts from adult house fly (Diptera: Muscidae) captured from the hospital environments in Alivaz city, Southwestern, Iran. *J. Med. Entomol.*, 52: 1351–1356.
- Nazari M., Mehrabi T., Mostafa S.H., Alikhani M.Y. (2017). Bacterial contamination of adult house flies (*Musca domestica*) and sensitivity of these bacteria to various antibiotics, captured from Hamadan City, Iran. *J. Clin. Diagn. Res.*, 11: DC04–DC07.
- Nichols G.L. (2005). Fly Transmission of *Campylobacter*. *Emerg. Infect. Dis.*, 11: 361–364.
- Nyassogbo G. (2005). La zone lagunaire de Lomé: problèmes de dégradation de l'environnement et assainissement. *Presses universitaires du Gabon (P.U.G.)*, 11: 390-408.
- Ommi D., Hashemian S.M., Tajbakhsh E., Khamesipour F. (2015). Molecular detection and antimicrobial resistance of *Aeromonas* from houseflies (*Musca domestica*) in Iran. *Revista MVZ Córdoba*, 20: 4929–4936.
- OMS. (2002). WHO global strategy for food safety. Safer food for better health. Food Safety Programme, 26p.
- OMS. (2010). Lutte contre les infections et soins de santé: nécessité d'une action de collaboration. Document technique. Comité régional de la Méditerranée orientale Cinquante-septième session EM/RC57/6, 14p.
- Oo K.N., Sebastian A.A., Aye T. (1989). Carriage of enteric bacterial pathogens by house flies in Yangon, Myanmar. *J. Diarrhoeal Dis. Res.*, 7: 81–84.
- Paolozzi L., Liébart J.C., Arlat M., Dion M., Rakotoarivonina H. (2019). Introduction à la microbiologie. Microbiologie fondamentale et appliquée. Dunod, 272p.
- Patricia L.S., Claudio S.F. (2008). House fly (*Musca domestica* L.) (Diptera: Muscidae) development in different types of manure. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 68: 192-197.
- Pitkin A., Deen J., Otake S., Moon R., Dee S. (2009). Further assessment of houseflies (*Musca domestica*) as vectors for the mechanical transport and transmission of porcine reproductive and respiratory syndrome virus under field condition. *The Canadian Journal of Veterinary Research.*, 73: 91–96.
- Popa G.L., Papa M.I. (2021). *Salmonella* spp. infection - a continuous threat worldwide. *Germes*, 11: 88-96.
- Ristuccia P.A., Cunha B.A. (1984). *Klebsiella*. *Infection Control*, 5: 343-347.
- Rocheffort S., Giroux M., Savage J., Wheeler T.A. (2015). Key to Forensically Important Piophilidae (Diptera) in the Nearctic Region. *Canadian Journal of Arthropod Identification*, 27: 1-37.
- Rosef O., Kapperud G. (1983). House flies (*Musca domestica*) as possible vectors of *Campylobacter fetus* subsp. jejuni. *Appl. Environ Microbiol.*, 45: 381–383.
- Roth M. (1980). Initiation à la morphologie, la systématique et la biologie des insectes. ORSTOM, 213p.
- Sarwar M. (2015). Insect vectors involving in mechanical transmission of human pathogens for serious diseases. *Int. J. Bioinformatics Biomed. Engineering*, 1: 300–306.
- Sasaki T., Kobayashi M., Agui N. (2000). Epidemiological potential of excretion and regurgitation by *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) in the dissemination of *Escherichia coli* O157: H7 to food. *J. Med. Entomol.*, 37: 945-949.
- Satin A., Shastry W. (1993). L'échantillonnage: un guide non thématique. Ottawa, Statistique-Canada, 100p.
- Shashi K. H.N., Murali S., Thyagaraj N.E., Ghosh S.K. (2013). Survey and isolation of natural incidence of different fungal pathogens against house flies in different urban habitats. *J. Biopest.*, 6: 133-138.
- Sliman R., Rehm S., Shlaes D.M. (1987). Serious infections caused by *Bacillus* species. *Medicine (Baltimore)*, 66: 218-23.

- Smallegange R.C., Den Otter C.J. (2007). Houseflies, annoying and dangerous. In Emerging pests and vector-borne diseases in Europe Vol 1. Takken W. et Knols B.G.J. Wageningen Academic Publishers: The Netherlands: 281–292.
- Solà-Ginés M., González-López J.J., Cameron-Veas K., Piedra-Carrasco N., Cerdà- Cuéllar M., Migura-García L. (2015). Houseflies (*Musca domestica*) as vectors for extended-spectrum  $\beta$ -Lactamase-Producing *Escherichia coli* on Spanish broiler farms. *Appl. Environ. Microbiol.*, 81: 3604–3611.
- Songe M.M., Hang'ombe B.M., Théodore J.D., Knight-Jones, Delia Grace. (2017). Antimicrobial resistant Enteropathogenic *Escherichia coli* and *Salmonella* spp. in houseflies infesting fish in food markets in Zambia. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 14: 21.
- Sukontason K., Bunchoo M., Khantawa B., Piangjai S., Sukontason K., Methanitikorn R., Rongsriyam Y. (2000a). Mechanical carrier of bacterial enteric pathogens by *Chrysomya megacephala* (Diptera: Calliphoridae) in Chiang Mai, Thailand. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health*, 31: 157–161.
- Sukontason K., Bunchoo M., Khantawa B., Sukontason K., Piangjai S., Choochote W. (2000b). *Musca domestica* as a mechanical carrier of bacteria in Chiang Mai, North Thailand. *J. Vector Ecol.*, 25: 114–117.
- Sukontason K.L., Bunchoo M., Khantawa B., Piangjai S., Rongsriyam Y., Sukontason K. (2007). Comparison between *Musca domestica* and *Chrysomya megacephala* as carriers of bacteria in northern Thailand. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health*, 38: 38–44.
- Szalanski A.L., Owens C.B., McKay T., Steelman C.D. (2004). Detection of *Campylobacter* and *Escherichia coli* O157:H7 from filth flies by polymerase chain reaction. *Medical and Veterinary Entomology*, 18: 241–246.
- Szostakowska B., Kruminis-Lozowska W., Racewicz M., Knight R., Tamang L., Myjak P., Graczyk T.K. (2004). *Cryptosporidium parvum* and *Giardia lamblia* recovered from flies on a cattle farm and in a landfill. *Appl. Environ. Microbiol.*, 70: 3742–3744.
- Tabutin D. (1991). La croissance démographique de l'Afrique: bilan et perspectives. *Revue Tiers Monde*, 32: 159-173.
- Thomson L., Yeater K.M., Zurek L., Nayduch D. (2017). Abundance and accumulation of *Escherichia coli* and *Salmonella typhimurium* procured by male and female house flies (Diptera: Muscidae) exposed to cattle manure. *Ann. Entomol. Soc. America*, 110: 37–44.
- Tortora J., Funck B.F., Case Ch.L. (2003). Microbiology: an introduction. Pearson (12<sup>th</sup> Ed.), 960p.
- Tsagaan A., Kanuka I., Okado K. (2015). Study of pathogenic bacteria detected in fly samples using universal primer-multiplex PCR. *Mongolian J. Agricultural Scie.*, 15: 27–32.
- Vieu J.F. (1987). Efficacité et limites du contrôle des infections bactériennes nosocomiales. *Médecine et Maladies Infectieuses*, 17: 113-116.
- Waheed I., Muhammad F.M., Muhammad K.S., Iqra A., Iram N., Aqsd. (2014). Role of housefly (*Musca domestica*, Diptera; Muscidae) as a disease vector. *J. Entomol. and Zool.*, 2:159–163.
- Wasala L., Talley J.L., Desilva U., Fletcher J., Wayadande A. (2013). Transfer of *Escherichia coli* O157:H7 to spinach by house flies, *Musca domestica* (Diptera: Muscidae). *Phytopathology*, 103: 373–380.
- Watt J., Lindsay D.R. (1948). Diarrheal disease control studies; effect of fly control in a high morbidity area. *Public Health Rep.*, 63: 1319–1349.
- Whitworth T. (2010). Keys to the genera and species of blow flies (Diptera: Calliphoridae) of the West Indies and description of a new species of *Lucilia* Robineau-Desvoidy. *Zootaxa*, 2663: 1–35.
- Zumpt F. (1965). Myiasis in man and animals in the Old World: A textbook for physicians, veterinarians and zoologists. Butterworths, 267p.
- Zurek L., Ghosh A. (2014). Insects represent a link between food animal farms and the urban environment for antibiotic resistance traits. *Appl. Environ. Microbiol.*, 80: 3562–3567.

# Impact de l'exploitation aurifère artisanale et clandestine sur la distribution des Monogènes parasites branchiaux de *Clarias gariepinus* dans la rivière Bagoué (Côte d'Ivoire)

A.R.E. KOUADIO<sup>1</sup>, E.F. BOUAH<sup>1</sup>, S.S. YAO<sup>1</sup>, V. N'DOUBA<sup>1</sup>

(Reçu le 22/09/2022; Accepté le 30/10/2022)

## Résumé

Une étude de la distribution spatiale des Monogènes sur les branchies de 272 spécimens de *Clarias gariepinus* collectés dans la rivière Bagoué a été faite d'août 2020 à juillet 2021. Cette étude a comparé la distribution et le micro-habitat des parasites entre la zone de référence en amont, non impactée par l'orpaillage (zone I) et la zone fortement impactée (zone II) en aval de la rivière Bagoué. L'analyse branchiale a montré que cet hôte héberge huit espèces de Monogènes parasites dans la zone de référence contre cinq dans la zone impactée. Les résultats ont montré que les prévalences et les intensités moyennes calculées sont relativement élevées dans la zone de référence comparativement à la zone impactée. Dans la zone de référence, les parasites ont préféré les arcs branchiaux I et II avec une affinité pour les segments dorsaux. Par contre, dans la zone impactée, les parasites ont préféré les arcs branchiaux II et III avec une affinité pour les segments médians. Il ressort de cette étude que l'exploitation aurifère artisanale influence la diversité et la répartition des Monogènes parasites branchiaux de *C. gariepinus*.

Mots-clés: Monogènes, pollution, orpaillage, *Clarias*, distribution, Rivière Bagoué

## Impact of artisanal and clandestine gold mining on the distribution of the Monogeneans gill parasite of *Clarias gariepinus* in the Bagoué river (Côte d'Ivoire)

### Abstract

A study of the spatial distribution of Monogeneans on the gills of 272 specimens of *Clarias gariepinus* collected in the Bagoué River was conducted from August 2020 to July 2021. This study compared the distribution and microhabitat of parasites between the upstream reference zone, not impacted by gold panning (zone I) and the downstream zone heavily impacted (zone II) of the Bagoué River. Branchial analysis identified eight species of Monogeneans parasite in reference zone and five species in impacted zone. Results showed that the prevalence and mean intensity were relatively higher in reference zone than in impacted zone. In reference zone, the preferred habitats of Monogeneans were the gill arches I and II with an affinity for the dorsal segments. In contrast, in impacted zone, they preferred gill arches II and III with an affinity for medial segments. This study demonstrates that artisanal gold mining influenced the diversity and distribution of monogeneans gill parasite of *C. gariepinus*.

**Keywords:** Monogeneans, pollution, gold panning, *Clarias*, distribution, Bagoué River

## INTRODUCTION

Les écosystèmes aquatiques renferment habituellement une grande variété de formes de vie. Suite aux actions humaines, ces milieux aquatiques, surtout continentaux, sont désormais modifiés et parfois dégradés (Kouamé *et al.*, 2020). L'altération d'un des paramètres du milieu peut provoquer une perturbation générale de tout l'équilibre naturel d'autant que la contamination qui en résulte induit souvent, lentement, mais parfois brutalement, des changements d'équilibres biologiques (Concas *et al.*, 2006). Aussi, les dégradations occasionnées se traduisent par la destruction perpétuelle des biotopes, par la diminution de la diversité biologique et par des perturbations dans les cycles des éléments minéraux nécessaires à la vie (Kouamé *et al.*, 2020).

Les études écologiques des parasites des poissons offrent des informations importantes non seulement sur leurs hôtes, mais aussi sur l'environnement aquatique (Ferrari-Hoeinghaus *et al.*, 2006). En effet, la connaissance de la diversité et de la distribution des espèces parasites renseigne sur la santé et la stabilité des écosystèmes (Lim, 1998). De plus, la faune parasitaire des poissons réagit fortement aux modifications des caractéristiques physiques et chimiques de l'environnement aquatique et aux modifications des conditions physiologiques et biologiques des hôtes (Dogiel *et al.*, 1961). Les Monogènes parasites branchiaux des

poissons d'eau douce ont fait l'objet de nombreuses études dont les plus récentes sont celles de Adou *et al.* (2017); Blahoua *et al.* (2019); Bouah *et al.* (2019); Bouah et N'Douba (2020) et Bouah *et al.* (2021). Cependant, aucune donnée n'est disponible pour savoir si le stress environnemental causé par la pollution due à l'exploitation aurifère artisanale et clandestine en Côte d'Ivoire a un impact sur la distribution spatiale des Monogènes parasites branchiaux des poissons. Pourtant, les cours d'eau ivoiriens sont de plus en plus exposés à ces menaces. En effet, les activités illicites d'exploitation aurifère artisanale et clandestine se pratiquent depuis des décennies dans le bassin de la rivière Bagoué située au nord-ouest de la Côte d'Ivoire (Kouamé, 2021 et Kouamé *et al.*, 2021). Dans ce contexte, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822), espèce piscicole très abondante dans la rivière Bagoué et qui survit bien dans des conditions environnementales stressantes (Ahotondji, 2012) offre un modèle idéal pour étudier l'effet de l'exploitation aurifère artisanale sur la distribution et la sélection du site de fixation des Monogènes parasites branchiaux de cet hôte. Le travail présenté ici traite de la distribution des Monogènes parasites branchiaux de *Clarias gariepinus*, obtenues dans deux zones de la rivière Bagoué: une zone située en amont de ladite rivière considérée comme zone saine ou de référence en raison de son éloignement des sites d'exploitation aurifère artisanale et clandestine et une zone localisée en aval, beaucoup plus exposée à cette activité. La

<sup>1</sup> Laboratoire des Milieux Naturels et Conservation de la Biodiversité, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire



présente étude a pour objectif de déterminer l'impact de la perturbation du milieu sur le choix des micro-habitats des Monogènes parasites branchiaux de *C. gariepinus* dans la rivière Bagoué.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Stations d'échantillonnage

La Bagoué est une rivière transfrontalière localisée au Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire entre les longitudes 5°40' et 7°10' Ouest et les latitudes 9°15' et 10°50' Nord (Adja *et al.*, 2009). Elle prend sa source à Kokoum à l'Ouest de la région de Boundiali et rejoint la rivière Bani sur le territoire malien avant de se jeter dans le fleuve Niger (Girard *et al.*, 1971). De sa source à la frontière ivoiro-malienne, sa longueur est de 230 km, avec un bassin versant de 13682 km<sup>2</sup> (N'Da, 2015). Pour l'échantillonnage, deux zones ont été identifiées sur la rivière. La zone I située en amont du cours d'eau, regroupe les villages de Samorosso (6°30'W et 9°34'N) et Guinguereni (6°35'W et 9°32'N). Cette zone se caractérise par une faible perturbation du cours d'eau en raison de l'éloignement des sites d'exploitation aurifère artisanale et clandestine (Figure 1). La zone II qui regroupe les villages de Kanakono (6°13'W et 10°18'N) et Zanicaha (6°14'W; 10°17'N) se trouve en aval où a lieu une intense activité d'orpaillage aussi bien dans le lit de la rivière que dans son environnement immédiat. Par conséquent, cette section de la rivière recueille le drainage de la plupart des déchets liés à l'exploitation aurifère artisanale et clandestine (Kouamé *et al.*, 2020). Dans cette étude, quatre stations d'échantillonnage ont été choisies sur cette rivière à raison de deux stations par zone. Les stations de la zone I ont été considérées comme des sites de référence.

### Échantillonnage des poissons et prélèvement des branchies

Un total de 272 spécimens de *Clarias gariepinus* a été collecté dont 136 spécimens proviennent de la zone I. Ces spécimens présentent les mensurations allant de 25 à

75 cm. Les 136 autres spécimens échantillonnés dans la zone II ont une longueur standard de 23 à 73 cm. Tous ces spécimens ont été capturés d'août 2020 à juillet 2021 à l'aide de filets maillants. Des difficultés considérables ont été rencontrées pour l'échantillonnage des *C. gariepinus* au niveau de la zone II en raison de la rareté du poisson causé par l'exploitation aurifère artisanale et clandestine. Les poissons ont été identifiés selon la clé de Paugy *et al.* (2003). Les mesures au millimètre près et les pesées au gramme près des poissons ont été effectuées respectivement à l'aide d'un ichtyomètre et d'une balance électronique de type de précision 1 g. Les branchies gauches et droites ont été prélevées par deux sections, l'une dorsale et l'autre ventrale. Celles-ci ont été étiquetées conformément aux poissons et aux côtés (gauche ou droit) puis conservées dans de la glace (0°C) jusqu'au laboratoire où elles ont été transposées dans un réfrigérateur.

### Recherche et identification des Monogènes

Au laboratoire, après décongélation des branchies, les arcs branchiaux ont été détachés et numérotés de I à IV dans le sens antéropostérieur suivant le gradient transversal (Lyndon et Vidal-Martinez, 1994). Chaque arc branchial a été divisé dorso-ventralement en trois segments selon le gradient longitudinal (Rohde, 1977) (Figure 2). Les segments ainsi obtenus ont été lavés séparément à l'aide

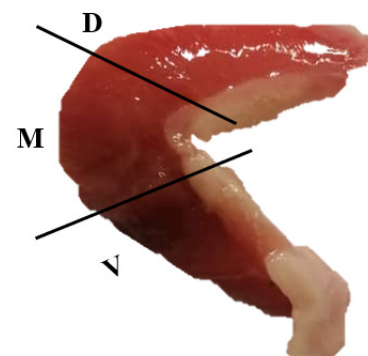


Figure 2: Division de l'arc branchial de *Clarias gariepinus*. D: segment dorsal; M: segment médian et V: segment ventral

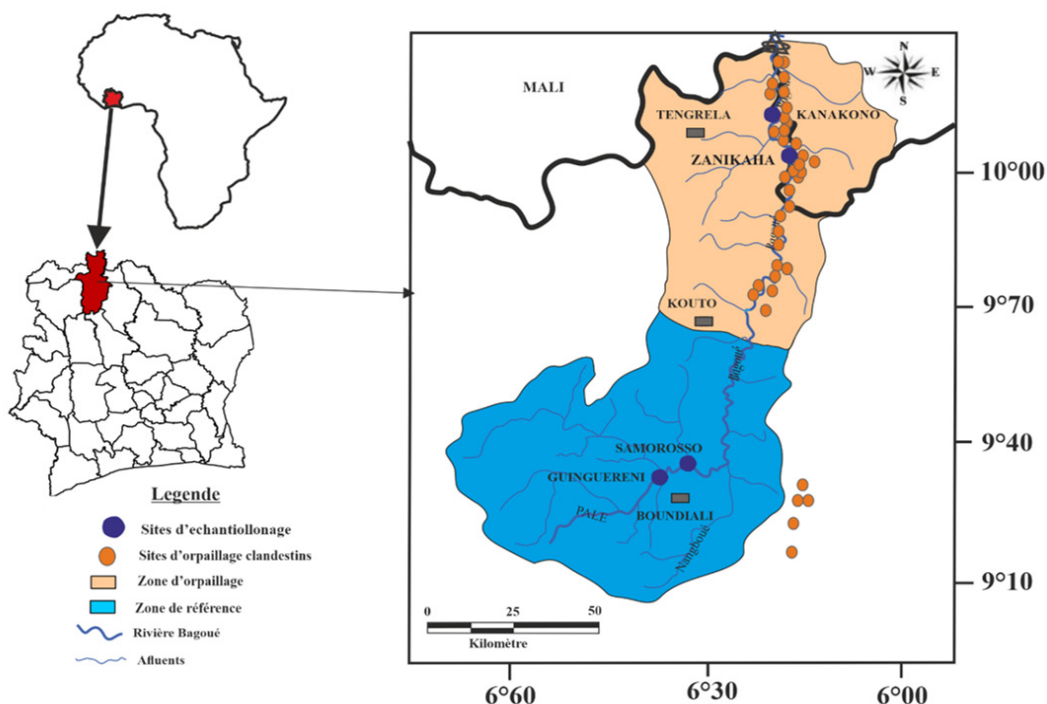


Figure 1: Localisation des stations d'échantillonnage et des sites d'orpaillage dans le bassin de la Bagoué

d'une pissette. L'eau de rinçage, recueillie dans une boîte de Pétri et les filaments branchiaux ont été examinés séparément sous une loupe binoculaire (grossissement x 60). Les Monogènes ainsi observés ont été prélevés à l'aide d'aiguilles d'entomologie (00) montées sur un mandrin d'horloger, puis montés entre lame et lamelle dans une goutte de picrate d'ammonium glycérine (Malmberg, 1957). La détermination des espèces de Monogènes parasites a été faite sous microscope optique *Motic BA310* muni d'une caméra intégrée, à l'aide de la clé d'identification de Scholz et al. (2018)

### Analyse des données

Pour mieux appréhender les niveaux d'infestations parasitaires, trois indices que sont la prévalence, l'abondance et l'intensité moyenne ont été déterminés selon Combes et al. (2018).

La prévalence (P) ou le taux de parasitisme est le rapport entre la proportion d'individus parasités (N) sur le nombre d'individus hôtes (H).

$$P = N/H \times 100$$

Les espèces parasites sont dites dominantes si prévalence > 50%, satellites si  $10 \leq$  prévalence  $\leq$  50% ou rares si prévalence < 10% selon Valtonen et al. (1997).

L'intensité parasitaire moyenne (IM) est le rapport du nombre total d'individus (n) d'une espèce parasite par le nombre d'individus hôtes infestés (N).

$$IM = n/N$$

La classification des espèces adoptée est celle de Bilong Bilong et Njiné (1998). L'intensité moyenne (IM) est très faible si  $IM \leq 10$ , faible si  $10 < IM \leq 50$ , moyenne si  $50 < IM \leq 100$  et élevée si  $IM > 100$ .

L'abondance (A) est le nombre moyen de parasites (n) potentiellement abrités par un hôte de la population entière (H).

$$A = n/H$$

La classification adoptée pour l'abondance parasitaire (A) est celle de Bilong Bilong et Njiné (1998). L'abondance est très faible si  $A < 10$ , faible si  $10 < A \leq 50$ , moyenne si  $50 < A \leq 100$  et élevée si  $A > 100$ .

### Analyse statistique

Le test Chi-deux ( $\chi^2$ ) a été utilisé pour comparer les prévalences. Le test de Mann-Whitney (U) a été utilisé pour comparer l'intensité moyenne des différentes espèces de Monogènes en fonction du côté de l'hôte. Le test de Kruskal Wallis (K) a permis de comparer les intensités moyennes en fonction des arcs et des segments branchiaux. La normalité des données a été vérifiée par le test de Shapiro-Wilk. Les différences ont été considérées significatives au seuil de 0,05. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel XLSTAT.

## RÉSULTATS

### Composition des espèces de Monogènes

L'examen des branchies de 272 spécimens de *C. gariepinus* échantillonnés dans la rivière Bagoué a permis de récolter 22006 Monogènes parasites dont 17274 récoltés sur des poissons provenant de la zone I et 4732 sur des poissons pêchés dans la zone II. Les spécimens de *C. gariepinus* de la zone I sont infestés par 8 espèces de Monogènes parasites tandis que ceux de la zone II sont infestés par 5 espèces de Monogènes parasites (Tableau 1). Parmi les différentes espèces de Monogènes parasites, seules *Quadricanthus aegypticus*, *Q. fornicatus*, *Q. pravus*, *Q. papernai* et *Q. clariadis* sont présentes sur les poissons des deux zones. L'infestation de *C. gariepinus* par ces différentes espèces de Monogènes parasites est faible dans la zone II et élevée dans la zone I. L'infestation de *C. gariepinus* par *Q. zuheiri*, *Q. ashuri* et *Q. allobychowskiella* est limitée à la zone I.

### Analyse quantitative des espèces de Monogènes récoltées dans les deux zones

#### Zone I (zone de référence)

Les Monogènes *Quadricanthus aegypticus*, *Q. fornicatus* et *Q. pravus*, avec des taux de prévalences respectifs de 100%, 96,3% et 91,2% sont des espèces dominantes de cette xenocommunauté (Tableau 2). Les espèces satellites sont *Q. papernai*, *Q. clariadis*, *Q. zuheiri* et *Q. ashuri*. Elles présentent des taux de prévalence respectifs de 49,3%, 45,6%, 43,4% et 35,3%. *Q. allobychowskiella* avec un taux de prévalence de 7,3 % est une espèce rare. Les valeurs de l'intensité moyenne des espèces varient de 3,5 à 40,6 parasites par poisson infesté. L'abondance fluctue entre 0,26 et 24,1 parasites par poisson examiné.

#### Zone II (zone aurifère)

Les Monogènes *Quadricanthus aegypticus* et *Q. fornicatus* représentent les espèces dominantes de cette xenocommunauté avec des taux de prévalence respectifs de 95,6% et 74,3% (Tableau 2). Les taux de prévalence de 47,8%, 30,1% et 27,9%, respectivement chez *Q. pravus*, *Q. papernai* et *Q. clariadis*, leur confèrent le statut d'espèces satellites. L'intensité moyenne est rangée entre 10,1 et 19,0 parasites par poisson infesté. L'abondance est comprise entre 5,32 et 9,64 parasites par poisson examiné. Dans l'ensemble, la prévalence et l'intensité moyenne des Monogènes sont beaucoup plus élevées dans la zone I que dans la zone II.

### Parasitisme en fonction des branchies droites et gauches, des arcs branchiaux et des segments des arcs branchiaux

De façon générale, toutes les espèces de Monogènes parasites ont montré des valeurs légèrement plus élevées pour les arcs branchiaux du côté droit dans les deux zones

**Tableau 1: Liste des espèces de Monogènes parasites branchiaux récoltés sur *C. gariepinus* dans les deux zones**

	Zone I (zone de référence)	Zone II (zone aurifère)
Espèces de parasites	<i>Quadricanthus aegypticus</i>	<i>Quadricanthus aegypticus</i>
	<i>Quadricanthus fornicatus</i>	<i>Quadricanthus fornicatus</i>
	<i>Quadricanthus pravus</i>	<i>Quadricanthus pravus</i>
	<i>Quadricanthus papernai</i>	<i>Quadricanthus papernai</i>
	<i>Quadricanthus clariadis</i>	<i>Quadricanthus clariadis</i>
	<i>Quadricanthus zuheiri</i>	
	<i>Quadricanthus ashuri</i>	
	<i>Quadricanthus allobychowskiella</i>	

(Tableau 3). Toutefois, le test U de Mann-Whitney ( $p > 0,05$ ) n'a montré aucune différence significative entre le nombre total de Monogènes parasites sur l'ensemble des branchies droites et gauches dans les deux zones.

Dans la zone I, 17274 Monogènes parasites ont été récoltés sur 136 poissons examinés. Les branchies droites contiennent un plus grand nombre de parasites (9243) que les branchies gauches (8031). Cependant, le test U de Mann-Whitney, n'a relevé aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) entre les nombres de parasites sur l'ensemble des branchies gauches et droites. Parmi les 4 arcs branchiaux, la préférence des 8 espèces de parasites s'est portée sur les 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> arcs branchiaux, suivi des 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> arcs branchiaux. La différence du parasitisme entre les arcs branchiaux I et II n'a pas été significative (Kruskal-Wallis,  $p > 0,05$ ).

A contrario, cette différence a été significative ( $p < 0,05$ ) entre l'arc branchial I et les arcs branchiaux III et IV (Figure 3). Aucune préférence des parasites *Q. aegypticus* et *Q. fornicatus* n'a été observée sur les différentes sections. Cependant, une préférence des segments dorsaux et médians des 6 autres Monogènes parasites a été notée ( $p < 0,05$ ) (Figure 4). Les Monogènes *Q. zuheiri*, *Q. ashuri* et *Q. allobychoowskiella*, sont très spécifiques à la zone I. Le test de Kruskal-Wallis, ( $p < 0,05$ ) montre une différence significative entre les nombres totaux des parasites sur les segments.

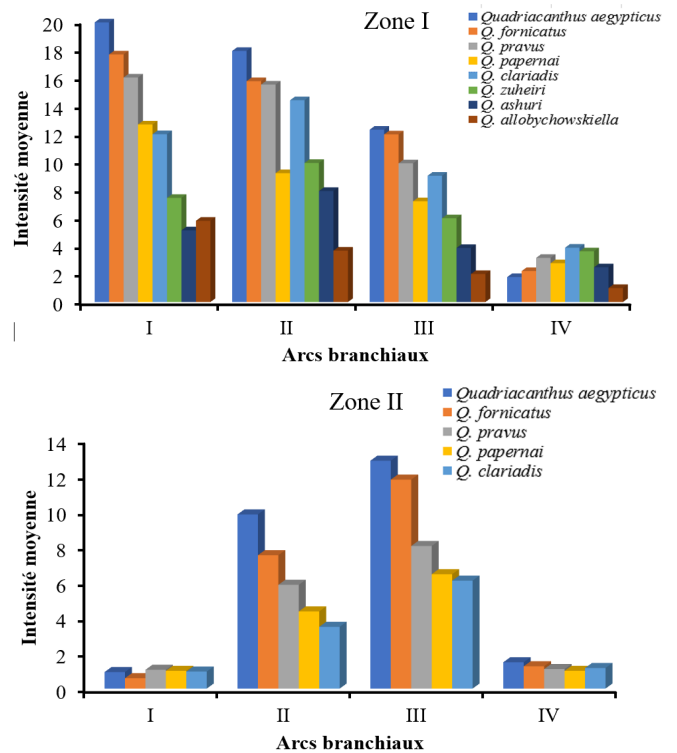


Figure 3: Distribution des Monogènes parasites sur les arcs branchiaux de *Clarias gariepinus* en zone I et II

Tableau 2: Répartition spatiale des indices parasitaires des espèces de Monogènes parasites branchiaux récoltés sur *C. gariepinus* dans les deux zones

Espèces parasites	Zone I (zone de référence)					
	H	N	n	P (%)	IM	A
<i>Q. aegypticus</i>	136	136	3281	100	24,1 ± 5,0	24,1
<i>Q. fornicatus</i>	136	131	2844	96,3	21,7 ± 3,0	20,9
<i>Q. pravus</i>	136	124	2620	91,2	21,1 ± 3,1	19,3
<i>Q. papernai</i>	136	67	2199	49,3	32,8 ± 2,0	16,2
<i>Q. clariadis</i>	136	62	2214	45,6	35,7 ± 3,1	16,3
<i>Q. zuheiri</i>	136	59	2133	43,4	36,1 ± 3,2	15,7
<i>Q. ashuri</i>	136	48	1948	35,3	40,6 ± 2,2	14,3
<i>Q. allobychoowskiella</i>	136	10	35	7,35	3,5 ± 1,0	0,26
Zone II (zone aurifère)						
<i>Q. aegypticus</i>	136	130	1311	95,6	10,1 ± 3,8	9,64
<i>Q. fornicatus</i>	136	101	1058	74,3	10,5 ± 2,2	7,78
<i>Q. pravus</i>	136	65	892	47,8	13,7 ± 1,8	6,56
<i>Q. papernai</i>	136	41	747	30,1	18,2 ± 1,0	5,49
<i>Q. clariadis</i>	136	38	724	27,9	19,0 ± 1,0	5,32

Q: Quadriacanthus; H: nombre de poissons examinés; N: nombre d'hôtes infestés; n: nombre d'individus d'une espèce parasite; P: prévalence; IM: intensité moyenne; A: abondance

Tableau 3: Répartition des Monogènes parasites sur les branchies droites et gauches de *C. gariepinus* en fonction des deux zones

Espèces parasites	Zone I (zone de référence)					
	H	N	BD	IM	BG	IM
<i>Q. aegypticus</i>	136	136	1762	13,0 ± 5,0	1518	11,2 ± 3,1
<i>Q. fornicatus</i>	136	131	1527	11,7 ± 3,1	1316	10,0 ± 2,0
<i>Q. pravus</i>	136	124	1402	11,3 ± 3,1	1217	9,8 ± 1,9
<i>Q. papernai</i>	136	67	1183	17,7 ± 2,4	1015	15,1 ± 2,1
<i>Q. clariadis</i>	136	62	1189	19,2 ± 2,8	1024	16,5 ± 2,0
<i>Q. zuheiri</i>	136	59	1122	19,0 ± 3,0	1010	17,1 ± 1,1
<i>Q. ashuri</i>	136	48	1034	21,5 ± 2,1	920	19,2 ± 0,9
<i>Q. allobychoowskiella</i>	136	10	24	2,4 ± 1,2	11	1,1 ± 0,01
Zone II (zone aurifère)						
<i>Q. aegypticus</i>	136	130	711	5,5 ± 1,1	600	4,6 ± 1,1
<i>Q. fornicatus</i>	136	101	579	5,7 ± 1,0	479	4,7 ± 0,1
<i>Q. pravus</i>	136	65	506	7,8 ± 1,0	386	5,9 ± 0,2
<i>Q. papernai</i>	136	41	418	10,2 ± 0,8	330	8,0 ± 0,2
<i>Q. clariadis</i>	136	38	405	10,7 ± 0,1	318	8,4 ± 0,12

Q: Quadriacanthus; H: nombre de poissons examinés; N: nombre d'hôtes infestés; BD: branchies droites; BG = branchies gauches; IM = intensité moyenne

Concernant la zone II, l'infestation des Monogènes parasites est beaucoup moins importante que celle de la zone I. Un total de 4732 individus a été récolté sur les branchies de 136 poissons examinés. Une différence significative a été observée entre le nombre total d'individus d'une espèce de parasites (Mann-Whitney,  $p < 0,05$ ). Cependant aucune différence significative n'a été relevée au niveau du nombre de Monogènes parasites sur les branchies droites (2619) et gauches (2113) (Mann-Whitney,  $p > 0,05$ ) (Tableau 3). La répartition des Monogènes sur les différents arcs branchiaux montre que les différentes espèces parasites infestent ces arcs différemment (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ) (Figure 3). L'intensité moyenne maximale de Monogènes parasites a été trouvée sur l'arc branchial III suivi de l'arc branchial II, ensuite l'arc branchial IV. La plus faible intensité moyenne a été relevée sur l'arc branchial I. Une préférence des segments médians a été notée pour les 5 Monogènes parasites (Figure 4). Une différence significative (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ) a été notée au niveau du nombre de Monogènes parasites entre les segments médians avec les segments dorsaux et ventraux.

### Comparaison du parasitisme en fonction des deux zones d'étude

Les données de cette étude révèlent une assez large distribution des espèces parasites, avec une prédominance dans l'ensemble des zones de *Quadriacanthus aegypticus* et *Q. fornicatus*. Dans la zone II (zone aurifère), la communauté des Monogènes parasites est moins diversifiée (5 espèces de Monogènes contre 8 espèces dans la zone I), avec comme caractéristique l'absence de *Q. zuheiri*, *Q. ashuri* et *Q. allobychowskiella*. Le test de Khi deux ( $\chi^2$ ) appliqué aux taux de prévalences des deux zones relatives au parasitisme chez l'ensemble des espèces de *C. gariepinus*, montre qu'il y a une différence significative entre les deux zones d'étude ( $\chi^2 = 69,4$  df = 7,  $p = 0,003 < 0,05$ ). Ceci suggère que les différentes zones auraient une influence sur le taux d'infestation des poissons. Au niveau des arcs branchiaux, les données montrent que dans la zone I, les 8 espèces de Monogènes parasites sont plus regroupées sur les arcs branchiaux I, II, et III avec une préférence pour les arcs branchiaux I et II. Dans la zone II, tous les Monogènes parasites ont une préférence pour les arcs branchiaux III et II (Figure 3).

Concernant la répartition sur les segments branchiaux, dans la zone de référence, hormis *Q. aegypticus* et *Q. fornicatus* qui ne montrent aucune préférence pour les segments branchiaux (Kruskal-Wallis,  $p > 0,05$ ) (Figure 4), toutes les autres espèces ont une préférence pour le segment dorsal (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ). Dans la zone II, les espèces ont une affinité pour les segments médians (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ).

## DISCUSSION

L'étude des Monogènes parasites branchiaux de *C. gariepinus* de la rivière Bagoué a mis en évidence la colonisation simultanée des branchies de cet hôte par 8 espèces de Monogènes parasites. Il s'agit de *Quadriacanthus aegypticus*, *Q. fornicatus*, *Q. pravus*, *Q. papernai*, *Q. clariadis*, *Q. zuheiri*, *Q. ashuri* et *Q. allobychowskiella*. La présence de ces Monogènes sur *C. gariepinus* a déjà été signalée par Paperna (1961, 1979), El-Naggar et Serag (1986), Kristky et Kulo (1988), Francovà et al. (2017) et Bouah (2022). Ce parasitisme multi-spécifique de *C. gariepinus* pourrait s'expliquer par la présence permanente de niches vacantes sur son bio-

tope branchial (Bouah et al., 2021). En effet, la coexistence d'espèces potentiellement concurrentes suggère l'existence d'un mécanisme stabilisateur pour qu'une espèce parasite quelconque ne mène les autres à l'extinction.

Les données exposées montrent une différence dans la richesse en espèces parasites d'une zone à l'autre (8 espèces dans la zone de référence et 5 espèces dans la zone aurifère). Les espèces *Q. zuheiri*, *Q. ashuri* et *Q. allobychowskiella* sont absentes de la zone aurifère. Aussi, les espèces communes aux deux zones ont présenté des prévalences et des intensités moyennes plus élevées dans la zone de référence (zone I) que dans la zone impactée par l'orpaillage (zone II). Cette baisse de la diversité parasitaire dans la zone II pourrait être liée à l'exploitation aurifère artisanale et clandestine. En effet, dans cette zone, les études menées par Kouamé et al. (2020) ont révélé une forte concentration de matières en suspension (MES) dans la colonne d'eau contrairement au bassin amont. Pour ces auteurs, le taux élevé de MES en aval du bassin est la conséquence de l'intensification des activités liées à l'orpaillage sur et aux abords du cours d'eau. La localisation géographique de quelques sites d'orpaillage dans le bassin de la Bagoué en est une illustration parfaite. Ainsi, la distribution des parasites étant influencée par certains facteurs anthropiques, la persistance du taux élevé des particules en suspension dans le milieu induit au niveau des poissons, un colmatage des branchies (Laperche et al., 2007). Cette obstruction des branchies réduit les sites de fixations des Monogènes parasites et conduit à la disparition des espèces sensibles (Bouah, 2022). Ces résultats concordent avec ceux Ruchika et al. (2016) qui ont montré une diminution d'ectoparasites dans la zone polluée du port de Visakhapatnam en Inde.

Dans les deux zones d'étude, aucune différence entre l'infection des branchies droites et gauches de *C. gariepinus* n'a été observée. Pour Tombi et al. (2016), cette équipartition des Monogènes de part et d'autre des branchies de l'hôte serait due à la symétrie bilatérale du corps de l'hôte. Ainsi, la symétrie bilatérale du corps de *C. gariepinus* expliquerait la répartition équitable des parasites des côtés gauches et droits. Des observations similaires ont été faites par Bouah et al. (2021) chez *Clarotes laticeps*, Blahoua et al. (2016) chez *Oreochromis niloticus* et par Adou (2018) chez *Coptodon zillii*, *C. guineensis*, l'hybride (*C. zillii* X *C. guineensis*) et *Sarotherodon melanotheron*.

Toutefois, les différentes espèces de Monogènes de *C. gariepinus*, bien que colonisant toutes les sections de l'appareil branchial, ont montré une préférence pour une certaine niche. De plus, les résultats montrent qu'un certain changement dans la sélection des micro-habitats des ectoparasites s'est produit chez les poissons de la zone aurifère (zone II). Dans la zone I, les Monogènes ont montré une préférence pour les arcs branchiaux I et II. Au niveau des segments branchiaux, *Q. pravus*, *Q. papernai*, *Q. clariadis*, *Q. zuheiri*, *Q. ashuri* et *Q. allobychowskiella* exploitent plus les segments dorsaux; tandis que *Q. aegypticus* et *Q. fornicatus* colonisent similairement les trois segments. Plusieurs cas de préférence des arcs et des segments branchiaux par les Monogènes ont été signalés (Tombi et al., 2016; Adou et al., 2017; Bouah et al., 2021). Selon Gutiérrez et Martorelli (1994) et Lo et Morand (2001), les arcs branchiaux les plus infestés sont ceux qui reçoivent un plus grand volume d'eau et un courant ventilatoire important capables de transporter plus de larves infestantes et offrent aux parasites une plus grande surface

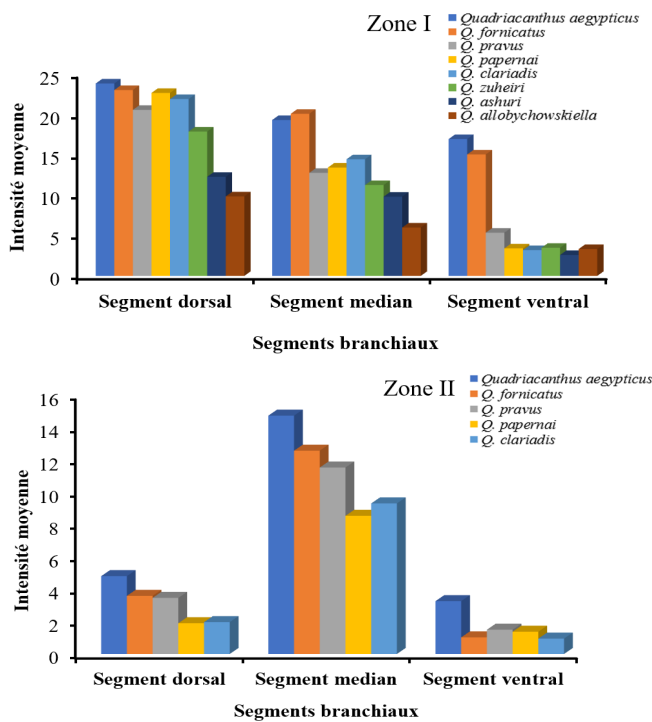


Figure 4: Distribution des Monogènes parasites sur les sections des branchies de *Clarias gariepinus* selon les zones I et II

à coloniser. Pour ce qui concerne les segments branchiaux, les parasites les colonisent de façon indépendante (Lo et Morand, 2001; Yang *et al.*, 2006; Nack *et al.*, 2010, 2018 et Bouah *et al.*, 2021). Pour ces auteurs, certains se fixent sur les secteurs médians plus exposés au courant d'eau respiratoire alors que d'autres s'accrochent sur le secteur dorsal et ventral. Plusieurs interprétations expliquent le choix des secteurs branchiaux par les Monogènes parasites. En accord avec Bilong Bilong (1995), certaines espèces s'attachent essentiellement sur les secteurs médians parce que ceux-ci sont plus exposés au courant ventilatoire. Les facteurs biotiques comme la forme et la taille des pièces sclérifiées du haptère jouent également un rôle important dans le choix des sites de fixation (Euzet & Combes, 1998; Tombi *et al.*, 2010). En revanche, Ramasamy *et al.* (1985) pensent que la préférence de certains sites par les Monogènes serait liée à la compétition intra et interspécifique.

Dans la zone II, les 5 espèces de Monogènes ont toutes montré une préférence de fixation sur les arcs branchiaux III et II et une affinité pour le segment médian. Ce probable changement de micro-habitat par les Monogènes, pourrait être lié au fait que ces niches offrent une protection accrue contre les agressions du milieu (Ruchika *et al.*, 2016). Nos résultats vont dans le même sens que ceux de Drovskikh et Torba (1988), qui rapportent que *Dactylogyrus intermedius* et *D. wegneri* sur *Carassius carassius* ont changé leurs positions sur les branchies dans des conditions de privation prolongée d'oxygène. Pour Ruchika *et al.* (2016), la préférence de ces Monogènes sur les segments médians s'explique par le fait que ces Monogènes se sentiraient en sécurité dans ces endroits. Ainsi, les effets des conditions environnementales défavorables ou du stress des hôtes influencent le choix du site des parasites. Le choix de ces parasites sur les branchies varie en fonction de l'espèce du parasite, de l'ampleur de l'interaction entre l'hôte, de l'agent pathogène et l'environnement, ainsi que de la nature et du degré de pollution, qui peuvent déplacer le parasite vers une niche plus sûre ou l'éliminer totalement.

## CONCLUSION

Cette étude qui est le premier rapport sur l'impact de l'exploitation aurifère artisanale et clandestine sur la distribution des Monogènes parasites branchiaux de *C. gariepinus*, a montré que la diversité et la distribution des Monogènes sont affectées par les conséquences environnementales de cette activité. Le nombre total d'espèces Monogènes et le nombre d'individus de Monogènes infestant *C. gariepinus* décroît de la zone de référence à la zone impactée. Aussi, un changement de micro-habitats a été observé chez les Monogènes de la zone d'orpaillage. Une attention particulière doit être accordée à la sensibilisation de la population riveraine sur l'impact négatif de cette activité sur l'écosystème aquatique.

## BIBLIOGRAPHIE

- Adja M.G., Jourda J.P.R., Ta M.Y., Kouamé K., Kouamé K.J., Kouamé K.F., Saley M.B., Djé K.B., Biemi J. (2009). Diagnostic à la mi-saison sèche de l'état hydrique du bassin-versant de la Bagoué (milieu soudano-sahélien de Côte d'Ivoire) à l'aide d'images ETM de Landsat. *Sécheresse*, 20: 253-261.
- Adou Y.E. (2018). Diversité et écologie des Monogènes parasites branchiaux de *Coptodon zillii* (Gervais, 1848), *C. guineensis* (Günther, 1862), leur hybride et de *Sarotherodon melanotheron* (Rüppel, 1852) (Cichlidae) du lac de barrage d'Ayamé 2 et de la lagune Ebrié. Thèse de l'université Félix Houphouët-Boigny (Côte d'Ivoire), 197p.
- Adou Y.E., Blahoua K.G., Yao S.S., N'Douba V. (2017). Spatial distribution of two gill monogenean species from *Sarotherodon melanotheron* Cichlidae in man-made Lake Ayamé 2. *J. biodivers. Environ. Sci.*, 10: 35-44.
- Ahotondji A. (2012). Renforcement des capacités nationales des petits producteurs dans la production intensive d'alevins de *Clarias*. *Eur. Sci. J.*, 15: 1-9.
- Bilong Bilong C.F. (1995). Les Monogènes parasites des poissons d'eau douce du Cameroun: biodiversité et spécificité; biologie des populations inféodées à *Hemichromis fasciatus*. Thèse de Doctorat d'État ès sciences, Université de Yaoundé, 341 p.
- Bilong Bilong C.F., Njiné T. (1998). Dynamique de populations de trois monogènes parasites d'*Hemichromis fasciatus* Peters, 1857 dans le lac Municipal de Yaoundé et intérêt possible en pisciculture intensive. *Sci. Nat. Vi.*, 34: 295-303.
- Blahoua K.G., Yao S.S., Etilé R.N., N'Douba V. (2016). Distribution of gill monogenean parasites from *Oreochromis niloticus* (Linné, 1758) in man-made Lake Ayamé I, Côte d'Ivoire. *Afr. J. Agric. Res.* 11: 117-129.
- Blahoua K.G., Adou Y.E., Etilé R.N., N'Douba V. (2019). Microecology of Monogenean Gill Parasites of *Mormyrus rume* Valenciennes, 1847 from man-made Lake Ayamé I, Côte d'Ivoire: the role of intrinsic factors. *Int. J. Res. Stud. Biosci.*, 3: 7-15.
- Bouah E.F. (2022). Diversité des Monogènes parasites branchiaux des poissons Characiformes (Alestidae, Citharinidae), Siluriformes (Claroteidae, Schilbeidae, Clariidae, Mochokidae) et Perciformes (Channidae) de la rivière Bagoué (Côte d'Ivoire): systématique et écologie, Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 291p.
- Bouah E.F., Gogbé Z.M., N'Douba V. (2021). Distribution of two monogenean gill parasites from *Clarotes laticeps* (Ruppel, 1829) in Bagoué river, Côte d'Ivoire. *Int. J. Fish. Aquat. Stud.*, 9: 117-125.
- Bouah E.F., N'Douba V., Pariselle A. (2019). Three new species of *Synodontella* (Monogenea, Ancyrocephalidae), gill parasites of *Synodontis* spp. (Siluriformes, Mochokidae) from Côte d'Ivoire. *Parasite*, 26: 1-9.
- Bouah E.F., N'Douba V. (2020). Four new species of *Synodontella* Dossou et Euzet, 1993 (Monogenea: Dactylogyridae) gill parasites of *Synodontis clarias* from the Bagoué River (North-Western Ivory Coast). *Acta Parasitol.*, 65: 890-898.

- Combes C., Gavotte L., Moulia C., Sicard M. (2018). Parasitisme, écologie et évolution des interactions durables. Collection Sciences Sup, Dunod d'écologie, 332 p.
- Concas A., Ardaou C., Cristini A., Zuddas P., Cao G. (2006). Mobility of heavy metal from tailing to stream waters in a mining activity contaminated site. *Chemosphere*, 63: 244-253.
- Dogiel V.A., Petrushevsky G.K., Polyanski Y. (1961). Parasitology of fishes. English translation London: Oliver and Boyd, 3840 p.
- Drovskikh G.N., Torba T.P. (1988). Distribution of species of *Dactylogyrus* on the gills of *Carassius carassius* L. *J. Parasit. Dis.*, 41: 40-47.
- El-Naggar M.M., Serag H.M. (1986). *Quadriacanthus aegypticus* n. sp., a monogenean gill parasite from the Egyptian teleost *Clarias lazera*. *Syst. Parasitol.*, 8:129-140.
- Euzet L., Combes C. (1998). The selection of habitat among the Monogenea. *Int. J. Parasitol.*, 28:1654-1662.
- Ferrari-Hoeinghaus A.P., Fakemoto R.M., Oliveira L.C., Makrakis M.C., Baumgartner G. (2006). Host-parasite relationships of Monogeneans in gills of *Astyanax altiparanae* and *Rhamdia quelen* of the Sao Francisco Verdadeiro River, Brazil. *Parasite*, 13: 315-320.
- Francová K., Seifertová M., Blažek R., Gelnar M., Mahmoud Z.N., Řehulková E. (2017). *Quadriacanthus* species (Monogenea: Dactylogyridae) from catfishes (Teleostei: Siluriformes) in eastern Africa: new species, new records and first insights into interspecific genetic relationships. *Parasitol. Vect.*, 10: 361-382.
- Girard G., Sircoulon J., Touchebeuf P. (1971). Aperçu sur les régimes hydrologiques. In: Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. ORSTOM (Paris) mémoire, 391 p.
- Gutiérrez P.A., Martorelli S.R. (1994). Seasonality, distribution and preference sites of *Demidospermus valenciennesi* Gutierrez & Suriano, 1992 (Monogenea: Ancyrocephalidae) in catfish. *Res. Rev. Parasitol.*, 54: 259-261.
- Kouamé N.A. (2021). Impacts de l'exploitation aurifère artisanale et clandestine sur les matrices eau-sédiments et bioaccumulation du mercure chez *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) et *Parachanna obscura* (Günther, 1861), poissons de la rivière Bagoué (Côte d'Ivoire), Thèse de doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire, 189 p.
- Kouamé N.A., Kamelan T.M., Gogbe Z.M., N'douba V. (2021). Clandestine gold mining and pollution risks of sediments from Bagoue river (Niger watershed, Cote d'Ivoire). *Int. J. Fish. Aquat. Stud.*, 9: 149-158.
- Kouamé N.A., Kouamé K.M., Kamelan T.M., N'douba V. (2020). Physical and Chemical Characterization of the Bagoue watershed (North-Western Côte d'Ivoire) impacted by artisanal and clandestine gold mining. *J. Environ. Poll. Hum. Heal.*, 8: 20-28.
- Kritsky D.C., Kulo S.D. (1988). The African species of *Quadriacanthus* with proposal of *Quadriacanthoides* gen. n. (Monogenea: Dactylogyridae). *Proc. Helm. Soc. Wash.*, 55: 175-187.
- Laperche V., Maury-Brachet R., Blanchard F., Dominique Y., Durrieu G., Massabuau J.C., Bouillard H., Joseph B., Laporte P., Mesmer-Dubons N., Dufflo V., Callier L. (2007). Répartition régionale du mercure dans les sédiments et poissons de six fleuves de Guyane, Rapport final, 201 p.
- Lim L.H.S. (1998). Diversity of monogeneans in Southeast Asia. *Int. J. Parasitol.*, 28:1495-1515.
- Lo C.M., Morand S. (2001). Gills parasites of *Cephalopholis argus* (Teleostei: Serranidae) from Moorea (French Polynesia): site selection and coexistence. *Folia Parasitol.*, 48: 30-36.
- Lyndon A.R., Vidal-Martinez V.M. (1994). The microhabitat and morphology of *Grubea cochlear* on the gills of mackerel from Lyme Bay, Southern England. *J. Mar. Biolog. Assoc. U.K.*, 74: 731-734.
- Malmberg G. (1957). On the occurrence of *Gyrodactylus* on Swedish fishes. In: Swedish, with description of species and a summary in English. Skrifterutgivna av Södra Sveriges Fiskeriforeningpp, 19-76.
- N'Da S.A. (2015). Biodiversité, structure du peuplement ichthyologique et relations trophiques d'un bassin du nord de la Côte d'Ivoire: cas de la rivière Bagoué. Thèse de Doctorat, Université de Cocody, Côte d'Ivoire, 220 p.
- Nack J., Massende J., Messu M.D.F. (2018). Distribution spatiale de deux Monogènes du genre *Protoancyrodiscoides* Paperna, 1969 (Dactylogyridae, Ancyrocephalidae) parasites branchiaux de *Chrysichthys auratus* (Geoffroy Saint-Hilaire, 1808) (Siluriformes, Claroteidae) dans le Lac Ossa Littoral -Came. *J. Appl. Biosci.*, 121: 12157-12167.
- Nack J., Tombi J., Bitya Nyom A., Bilong Bilong C.F. (2010). Sites de fixation de deux Monogènes Dactylogyridae parasites branchiaux de *Clarias camerunensis*: évidence sur le mode d'infestation par les Monopisthocotylea. *J. Appl. Biosci.*, 33: 2076-2083.
- Paperna I. (1961). Studies on Monogenetic Trematodes in Israel. 3. Monogenetic Trematodes of the Cyprinidae and Clariidae of the Lake of Galilee. *Bami. Bull. Fish. Cult. Isr.*, 13: 14-29.
- Paperna I. (1979). Monogenea of Inland water fish in Africa. *Annal. Mus. Roy. Afr. Cent. Sér. Zool.*, 226: 1-131.
- Paugy D., Lévêque C., Teugels G.G. (2003). Faune des Poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest, volume 2. Collection faune tropicale 40. Institut de Recherche pour le Développement (IRD) (Paris, France) MRAC et MHN, 815 p.
- Ramasamy P., Ramalingam K., Hanna REB., Halton DW. (1985). Microhabitats of gill parasites (Monogenea and Copepoda) of teleosts (*Scomberoides* spp.). *Int. J. Parasitol.*, 15: 385-397.
- Rohde K. (1977). Habitat partitioning in Monogenea of marine fishes: *Heteromicrocotyla australiensis* sp. Nov. and *Heteromicrocotylodes mirabilis*, gen. and sp. Nov. (Heteromicrocotylidae) on the gills of *Carangoides emburyi* (Carangidae) on the Great Barrier Reef. Australia. *Z Parasite*, 53: 171-182.
- Ruchika K., Rokkam M., Bade S. (2016). Spatial distribution of ectoparasites on the gills of the mullet, *Liza macrolepis*: the effects of pollution. *J. Parasit. Dis.*, 41: 40-47.
- Scholz T.M., Vanhove Z., Jayasundera M., Gelnar. (2018). A guide to the parasites of African freshwater fishes. *Abc Taxa*, 28: 1- 425.
- Tombi J., Nack J., Bilong Bilong C.F. (2010). Spatial distribution of monogenean and myxosporidian gill parasites of *Barbus martorelli* Roman, 1971 (Teleostei: Cyprinid): the role of intrinsic factors. *Afr. J. Agric. Res.* 5: 1662-1669.
- Tombi J., Sandje B.A.S., Akoumba J.F., Bilong Bilong C.F. (2016). Ecology of three monogenean ectoparasites of *Barbus camptacanthus* (Teleostei: Cyprinid) from the Koukoum River, Cameroon. *J. Appl. Biosci.*, 101: 9661-9668.
- Valtonen E.T., Holmes J.C., Koskivaara M. (1997). Eutrophication, pollution and fragmentation: effects on parasite communities in roach (*Rutilus rutilus*) and perch (*Perca fluviatilis*) in four lakes in the Central Finland. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 54: 572-585.
- Yang T., Liu J., Gibson D.I., Dang A. (2006). Spatial distribution of two species of monogeneans on the gills of *Siamus fuscegens* (Houhyn) and their seasonal dynamics in caged versus wild-caught hosts. *J. Parasitol.*, 92: 933-940.

# Les taurins nains à courtes cornes dans le cheptel bovin ouest africain: Cas des races Lagunaire et Muturu

S. AKA<sup>1</sup>, B. SORO<sup>1</sup>, M. H. K. KANH<sup>2</sup>, I. K. KPANDJI<sup>1</sup>, M. KOFFI<sup>3</sup>, D. P. SOKOURI<sup>1</sup>

(Reçu le 25/10/2022; Accepté le 30/11/2022)

## Résumé

La présente étude est une synthèse des connaissances sur les taurins nains à courtes cornes, notamment les races Lagunaire ou Muturu en Afrique de l'Ouest en général, et en Côte d'Ivoire en particulier. Cette race trypanotolérante se rencontre le long des côtes Ouest Africaines du Libéria au Nigeria, zones infestées de glossines. Le poids moyen des taurins nains à l'âge adulte est de 200 kg pour les mâles contre 160 kg pour les femelles. La hauteur au garrot est comprise entre 80 à 100 cm. L'âge au premier vêlage est de 29,8 mois avec un intervalle inter-vêlages de 13,6 mois. La production laitière de la race Lagunaire est médiocre, soit 0,36 litre par jour. Ces animaux sont généralement élevés pour la boucherie. Les taurins nains à courtes cornes sont remarquablement adaptés à leurs milieux d'élevage où prolifèrent les maladies parasitaires. La race Lagunaire est considérée comme plus tolérante à la trypanosomose que la race Ndama, car elle présente de meilleurs indicateurs. Elle est généralement élevée de façon traditionnelle selon le mode extensif. Les perspectives de développement et de valorisation de cette race sont nombreuses, bien qu'elle n'ait pas encore été prise en compte dans les programmes d'amélioration et de sélection.

**Mots clés:** Taurins nains, Lagunaire, Muturu, trypanosomose, valorisation

## Dwarf short-horned bulls in West Africa: Lagunaire and Muturu breeds

### Abstract

This study reviews the knowledge on short-horned dwarf taurines, notably the Lagunaire or Muturu breeds in West Africa in general and in Côte d'Ivoire in particular. This trypanotolerant breed is found along the West African coasts from Liberia to Nigeria, a tsetse-infested areas. The average weight dwarf taurines adults is 200 kg for males and 160 kg for females. The height at the withers is between 80 and 100 cm. The age at first calving is 29.8 months with an inter-calving interval of 13.6 months. The milk production of the Lagunaire breed is low, at 0.36 liters per day. These animals are generally bred for slaughter. The short-horned dwarf bulls are remarkably well adapted to their breeding environments where parasitic diseases proliferate. The Lagunaire breed is considered more trypanosomiasis tolerant than the Ndama breed, as it has better indicators. It is generally reared in the traditional extensive way. The prospects for the development and valorisation of this breed are numerous, although it has not yet been taken into account in the improvement and selection programmes.

**Keywords:** Dwarf bulls, Laguna, Muturu, trypanosomiasis, valorisation

## INTRODUCTION

La diversité génétique animale de l'Afrique est représentée chez les bovins par deux sous-espèces: le zébu (*Bos indicus*) et le taurin (*Bos taurus*) avec au moins 22 races différentes (UA-BIRA, 2017). En Afrique de l'Ouest, il existe deux types de taurins à courtes cornes; les taurins à courtes cornes des savanes (Races Baoulé, Somba, Ghana shorthorn) et les taurins à courtes cornes nains dont fait partie la race Lagunaire et la «Dwarf West African Shortborn». Ces taurins à courtes cornes, en particulier la race Lagunaire, sont remarquablement adaptés aux environnements difficiles et à la trypanosomose (CIRAD, 2015). Ces races vivent traditionnellement dans les zones côtières défavorables: régions de lagunes, forêt dense, et marais (Lhoste, 1978). La race lagunaire est un animal de petite taille, plus petite que celle de la race Baoulé. Elle ne présente aucune aptitude bien définie, sinon d'être remarquablement adaptée à son milieu où prolifèrent les maladies parasitaires auxquelles elle est résistante (UA-BIRA, 2015). C'est une race rustique, trypanotolérante, très bien adaptée dans son milieu d'élevage (Yapi-Gnaore *et al.*, 1996).

Malheureusement, la race lagunaire est en voie d'extinction en Côte d'Ivoire (MPARH, 2003) et dans certains pays où elle se retrouve à l'état de très faibles effectifs (Lhoste, 1978; Lombo *et al.*, 2014). Aussi, on observe au niveau des éleveurs une tendance aux croisements systématiques

pour augmenter le format et la productivité des animaux au détriment des qualités de trypano-tolérance et de résistance à certaines maladies (UA-BIRA, 2017). De plus, la race Lagunaire n'a pas encore été prise en considération dans des programmes de développement. Au contraire, elle a été remplacée en Côte d'Ivoire par les races Baoulé et Ndama, dans le cadre de l'opération «Élevage sous Palmeraie» (Yapi-Gnaore *et al.*, 1996). Cette étude tente de résumer l'ensemble des études et connaissances acquises sur les bovins nains d'Afrique de l'Ouest tout en mettant en valeur le potentiel de ces races et les contraintes liées à leur élevage.

### Origine des taurins nains d'Afrique de l'Ouest nains

Les taurins à courtes cornes d'Afrique de l'Ouest, de même que les Ndama, descendent de troupeaux amenés dans cette région par les populations berbères venues du Sud marocain (Doutressoulle, 1947). Selon Pierre (1906), la population bovine actuelle de la région côtière descendrait d'ancêtres ibériques introduits par les premiers navigateurs portugais. Quant à Pécaud (1912), il estime que ces bovins (Lagunaire) sont issus de la race autochtone Somba. Toutefois, Doutressoulle (1947) distingue à l'intérieur des taurins à courtes cornes une sous-race, dite Baoulé, qui peuple la zone centrale de la Côte d'Ivoire, dans la région de Bouaké, et présente des signes de métissage avec les Ndama du Nord. Quant au Muturu, ils

<sup>1</sup> Laboratoire de Biotechnologie, Agriculture et Valorisation des ressources Biologiques, Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup> UFR Sciences Biologiques, Université Gbon Péléforo Coulibaly, Côte d'Ivoire

<sup>3</sup> Laboratoire de Biodiversité et Gestion des Ecosystèmes Tropicaux, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire

provenaient selon Gwaza et Momoh (2016) du bétail sans bosse à cornes courtes (*Brachyceros*) qui est apparu dans l'Égypte ancienne au deuxième millénaire av. J.-C et ont été enregistrés pour la première fois en Afrique de l'Ouest pendant la première moitié du premier millénaire.

### Aire de répartition géographique

L'aire de répartition géographique naturelle des taurins nains à courtes cornes en Afrique de l'Ouest est représentée en figure 1. Sa zone d'extension naturelle est constituée du Liberia, de la Côte d'Ivoire, du Ghana, du Togo, du Bénin, du Nigeria et du Cameroun (Hoste *et al.*, 1988).

En Côte d'Ivoire, les bovins de race Lagunaire se rencontrent sur le littoral de basse Côte d'Ivoire, particulièrement la zone Sud (Cercle des lagunes, Adzopé, Agboville, Alépé), le Littoral (Dabou, Toupa, Jacquville, Sassandra, Lahou, Tabou) et les régions d'Aboisso (Sud-Est) et de l'Indénié à l'Est (UA-BIRA, 2017). On les retrouve au Ghana dans la zone côtière du sud-est près d'Ada et de la lagune de Keta (ILCA, 1979; Rege *et al.*, 1994a) ou ils sont connus sous le nom de «Lagoon-cattle» ou de «Dwarf West African Shortborn» (Domingo, 1976). Au Libéria, les Shorthorns nains typiques se trouvent dans les zones côtières orientales des comtés du Maryland et de Sinoe, tandis que les animaux à rayures moins caractéristiques se trouvent dans le comté de Grand Bassa et à l'intérieur des terres dans les comtés de Grand Gedeh, Bong et Nimba (Rege *et al.*, 1994a). Au Bénin, l'aire de répartition des taurins Lagunaire couvre les provinces de l'atlantique, du Mono, de l'Ouémé et celle du Zou en un mot la région s'étend depuis la côte jusqu'au nord d'Abomey. Au Togo, la zone des taurins Lagunaires couvre la région maritime et celle des plateaux, c'est à dire l'aire comprise entre Lomé et Blitta (Domingo, 1976). Le «Dwarf West African Shortborn» appelé Muturu au Nigeria est connu pour avoir deux souches à savoir souche de Savane et la souche de forêts (Rege, 1999; Rege et Tawah, 1999). Au Nigeria, tous les bovins Shorthorn sont appelés Muturu. Il n'y a pas de distinction entre les types Nain (Forêt) et

Savane (DAD-IS, 2020). Cependant, selon Gwaza *et al.*, (2018) les types Nain (Forêt) sont aussi appelés Kiroli et se retrouve le long du littoral de la frontière du Bénin à celle du Cameroun. Il faut noter qu'il existe au Cameroun une race naine appelée Muturu du Cameroun, ou Bakweri, qui ressemble fortement au Muturu du Nigeria. Cette race est localisée à la limite des provinces de l'Ouest et du Littoral, principalement à l'ouest de Nkongsamba dans un espace réduit entre Buea et Limbe, au pied du mont Cameroun (Seignobos *et al.*, 1998). Cette race est également classée parmi les races taurines naines à courtes cornes, comme les races lagunaires (Thys, 1998). Il faut également noter que les taurins nains à courtes cornes de types Lagunaire ont été introduits en Afrique centrale au Gabon ou Congo et en République Démocratique du Congo (Hoste *et al.*, 1988).

### Races disparues

D'autres races bovines Shorthorn de moins en moins connues comprennent le bovin Manjaca et le Gambian Dwarf. Ces races se retrouvaient en Guinée Bissau pour la première et en Gambie pour la seconde (Figure 1). Quelques bovins Manjaca auraient été trouvés vers la côte dans la région de Cacheu en Guinée-Bissau et également sur les îles (Trail *et al.*, 1980). Da Costa (1933) avait précédemment décrit le Manjaca de la région de Brames de l'ancienne Guinée portugaise comme «petit, bien proportionné et de conformation typique de Shorthorn, se distinguant par la couleur noire du pelage». Dans le rapport de Trail *et al.* (1980), cette race aurait disparu, car elle était absorbée par d'autres races. La race Manjaca n'existe plus qu'à l'état de traces et peut être considérée comme disparue (Grignon, 1985; Hoste *et al.*, 1988). Les dernières études FAO/ILCA (Shaw et Hoste, 1987; Hoste *et al.*, 1992) ne font cependant aucune mention du Manjaca. Cette race a probablement été anéantie par les croisements.

En Gambie, les vestiges des Gambian Dwarf pouvaient encore se trouver au sud du fleuve Gambie, mais ces populations sont absorbées par les Ndama, principalement en raison de la supériorité économique de ces derniers (Epstein, 1971).

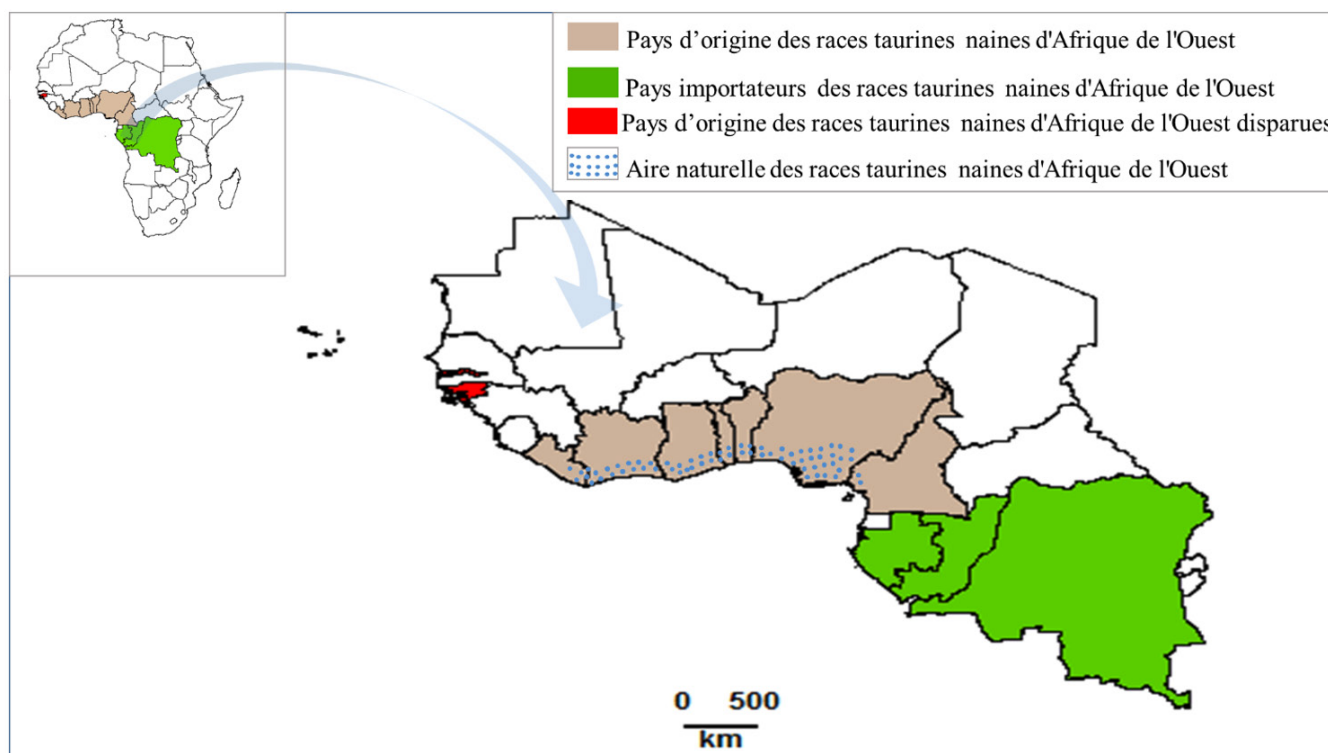


Figure 1: Répartition des taurins nains à courtes cornes



### Estimation de la population

Au Nigeria, le nombre de bovins Muturu nain ou forestier en 1990 était compris entre 75000 à 120000 (Rege et Tawah, 1999; Gwaza *et al.*, 2018). La population de Muturu représentait 8,3% de la population bovine totale du Nigeria (RIM, 1992). Selon Seignobos *et al.*, (1998), Le Muturu nain du Cameroun appelé localement Bakweri, plafonnerait à 400 têtes, qui se répartissent dans un espace réduit entre Buea et Limbe, au pied du mont Cameroun. La région de Bakossi ne compterait plus que 200 à 300 animaux. Le même constat a été effectué au Togo, avec une chute de l'effectif de 2500 têtes en 1984 à 1000 têtes en 1994 (Hoste *et al.*, 1988; DAD-IS, 2020). En 1998, la population de bovins lagunaires au Bénin était estimée à 37250 têtes (DAD-IS, 2020). Au Ghana, certains auteurs ont souligné l'existence de la race Lagunaire mais il n'existe aucune information sur son aire de répartition, l'effectif ou l'état de cette ressource génétique. La population de la population de Muturus nains du Ghana était estimée selon Rege *et al.* (1994) à 100 individus. La zone côtière du Sud-Est près d'Ada et de la lagune de Keta au Ghana est l'habitat de certains Shorthorn nains (forestiers) typiques connus localement sous le nom de Muturu (ILCA, 1979). Au Libéria, les effectifs étaient de 15000 têtes e 1979 a un des effectifs vaguement estimés entre 5000 et 12000 têtes en 1989 (DAD-IS, 2020). En Côte d'Ivoire, son effectif était est passé de 7000 à 1000 têtes (Rege *et al.*, 1994a; Sokouri *et al.*, 2009). Les principaux changements à noter sont la rapide disparition des Muturu au Liberia (-63%) et au Nigeria (-32%) qui serait compensée par une augmentation de la population lagunaire au Bénin (+87%). Les effectifs étant toutefois très réduits et les recensements incertains. Il suffit de retenir que ce groupe de taurins trypanotolérants a réussi à peu près à maintenir ses effectifs au

cours de la période étudiée, mais reste toujours fortement menacé de disparition (Hoste *et al.*, 1988). A ce jour aucune actualisation des informations sur les races taurines naines d'Afrique de l'Ouest n'a été effectuée.

### DESCRIPTION TAURINS NAINS A COURTES CORNES D'AFRIQUE DE L'OUEST

#### Description des taurins Muturu

Selon Monstma (1959), le taurin Lagunaire du Ghana mesure 88 cm au garrot avec une moyenne de 130 cm de périmètre thoracique et 107 cm de longueur de corps avec un poids moyen de 165 kg dans des conditions d'élevage en milieu paysan. Le taurin Muturu du Libéria quant à lui présente un poids moyen de 211 kg pour une hauteur au garrot de 106 cm, un périmètre thoracique de 137 cm et une longueur du corps de 119 cm (Karnuah *et al.*, 2018). Les colorations de robe retrouvées sont pour la majorité uniformes avec une prédominance de la couleur noire. On retrouve également dans cette population des bovins de couleur pie et pie-noire (Karnuah *et al.*, 2018). Le Muturu du Nigeria présente un format beaucoup plus petit que celui des autres pays avec un poids moyen de 157 kg pour une hauteur au garrot de 91,4 cm, un périmètre thoracique de 113,9 cm et une longueur du corps de 92,3 cm (Daikwo *et al.*, 2018). La caractérisation morphométrique de la race Muturu de forêt au Nigeria a révélé des nuances de couleur de noir ébène, fauve, noir et blanc, noir avec des taches blanches, blanche avec des taches brunes ou noires de fréquences variables allant de 39% à 90%. Au total, 62% de la population étudiés étaient majoritairement noirs, ce qui correspond à une adaptation écologique de l'animal dans le Sud du pays où il se trouve hautement distribué (Oloruntobi, 1994).



Figure 2 : les populations de races taurines naines à courtes cornes (A: Muturu du Nigeria (Adebambo, 2001), B: Muturu du Cameroun (Thys, 1998), C: Lagunaire de Côte d'Ivoire (UA-BIRA, 2017), D: Lagunaire du Benin (Assogba *et al.*, 2017)).

## Description des taurins Lagunaire

Le taurin lagunaire est un animal de petite taille, de formes rectilignes, brévilignes, ellipométriques. Il possède des orbites saillantes (Touré, 1977). Les cornes sont courtes (14 à 21 cm en moyenne). Elles s'évasent à partir du chignon et sont arquées en haut et en avant. Elles sont claires à la base et noires aux extrémités. Leur surface est rugueuse (Domingo, 1976). La robe est souvent noire, généralement pie-noire. Les animaux rouges ou rouges et blancs sont très rares. Cependant, des individus fauves, gris foncé ou tachetés de gris clair sont fréquemment rencontrés. On pense que les animaux inégaux rouges, bruns ou rouges et blancs trouvés en Côte d'Ivoire sont un mélange avec le Ndama (Aboagye et al., 1994). Le poids moyen de ces animaux est très variable. Selon Touré (1977), le groupe Lagune représenté en Côte d'Ivoire, au Bénin et au Togo présente des phénotypes variables, noire, pie noire. La race des lagunes du golf du Bénin présente une longue tête au profil rectiligne, un front plat ou légèrement concave. Le chanfrein est rectiligne, le chignon droit avec une dépression médiane, Les orbites sont saillantes, le pourtour des yeux noirs. Le mufle épais et également noir (Domingo, 1976).

Le poids moyen de ces animaux est très variable. Ils varient de 188 kg à 280 kg chez les adultes de cinq ans au Togo et au Bénin. La hauteur au garrot peut atteindre 95 cm chez les vaches adultes de 5 à 10 ans; quelques sujets exceptionnels atteignent 105 cm (Domingo, 1976).

Les différentes mensurations corporelles chez les taurins d'Afrique de l'ouest sont présentées dans le tableau 1. Les taurins Muturu du Nigeria présentent le plus petit format avec une hauteur au garrot de 91,4 cm chez les mâles et 83,5 cm chez les femelles. Il est suivi des taurins lagunaires du Bénin avec une hauteur au garrot enregistré de 95 cm. Les taurins baoulés occupent la troisième position et les taurins Ndama occupe la position de plus grand taurin d'Afrique de l'Ouest comme l'a souligné (Kanh, 2020).

## PARAMÈTRES DE PRODUCTION

### Production laitière

La très faible aptitude laitière a été signalée par (Moumouni, 2006). En effet, la race lagunaire a entre 125 kg et 200 kg par lactation en 180 jours. Houenou-Sedogbo (1993) faisait observer que la production laitière de la race lagunaire était faible et ne dépassait pas 1,5 L par jour. Les métis issus du croisement Lagunaire x Borgou avaient une production laitière estimée à 2 L par jour. Cette production laitière de la Lagune est confirmée par Touré (1977), c'est-à-dire une production laitière est assez faible: de 1,5 à 2 L par jour de lait. La vache Lagunaire n'est généralement pas traitée, il existe donc très peu d'informations disponibles sur ses performances de lactation. Le rendement en lactation rapporté pour cette race par Agbemelo (1983) dans des conditions villageoises était supérieur aux estimations disponibles pour les bovins Baoulé et Somba dans des conditions similaires. Des rendements laitiers quotidiens allant de 1,5 à 2,0 kg, sur des périodes de lactation de 120 à 225 jours, ont été signalés dans des conditions villageoises au Togo (Domingo, 1976; Agbemelo, 1983). La matière grasse du lait de ces animaux a été estimée à 6,2 % (Domingo, 1976; Agbemelo, 1983), ce qui est similaire à celui des bovins zébu, Baoulé et Somba, mais plus élevé que celui des bovins Shorthorn et Holstein Friesian du Ghana (Rege et al., 1994b).

Comme les vaches Lagunaires, les données sur la production de lait des bovins Muturu ne sont pas bien documentées. Néanmoins, les productions pour des durées de lactation de 120 à 216 jours, se situent entre 127 et 421 kg (Olaloku, 1976; Fricke, 1979). La faible production de lait a été liée à la petite taille corporelle des vaches Muturu (Ezekwe et Machebe, 2005). Ces auteurs ont rapporté une teneur en matières grasses pour le lait de vache Muturu variant de 4,14% à 5,34%. Ekpo et al. (2019) rapportent que le lait des vaches Muturu en raison de ses composants solides laitiers relativement supérieurs à ceux des vaches Bunaji est préféré par les bergers.

**Tableau 1: Mensurations moyennes corporelles chez les races taurines adultes d'Afrique de l'Ouest**

Paramètres zootechniques	Baoulé		Somba		Muturu		Lagunaire		Ndama	
	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles
Hauteur au garrot en (cm)	94,1 ± 5,2	94,9 ± 5,5	97,2 ± 4,7	97,2 ± 4,7	91,4 ± 2,3	83,5 ± 3,6	95	95	106,2 ± 5,05	105,1 ± 4,7
Profondeur du thorax (cm)	94,1 ± 5,2	94,9 ± 5,5	50,6 ± 4,0	50,6 ± 4,0	nc	nc	nc	nc	56,4 ± 1,44	53,7 ± 8,7
Périmètre du thorax (cm)	128 ± 10,3	130 ± 9,6	129,6 ± 7,5	129,6 ± 7,5	113,9 ± 3,4	106,7 ± 1,5	136	136	148,6 ± 10,5	143,3 ± 10,6
Longueur du corps (cm)	120 ± 7,4	122 ± 10,1	108,2 ± 6,1	108,2 ± 6,1	92,3 ± 2,5	85,2 ± 3,9	120	120	122,8 ± 10,5	115,4 ± 7,9
Sources	(Soro et al., 2015)		(Boma et al., 2018)		(Daikwo et al., 2018)		(Domingo, 1976; Adanléhoussi et al., 2003)		(Baldé, 2017; Kanh, 2020)	

nc: non connus

**Tableau 2: Quelques paramètres zootechniques moyens des races taurines adultes d'Afrique de l'Ouest**

Paramètres zootechniques	Ndama	Baoulé	Somba	Muturu	Lagunaire
Poids naissances mâle (Kg)	19	13 ± 0,33	12 ± 2,4	13,7	10
Poids naissances femelle (Kg)	17	12 ± 0,25	11 ± 1,5	13,9	10-12
Poids adulte mâle (Kg)	329 ± 20	184 ± 40	172 ± 13	157 ± 8	200
Poids adulte femelle (Kg)	287 ± 8	191 ± 36	172 ± 13	139 ± 4	160
Age au premier vêlage (mois)	33 ± 6	26 ± 1,3	65 ± 16	38	48 ± 6
Intervalle inter -vêlage (jours)	474 ± 148	421	555 ± 171	735	426 ± 85
Sources	(Coulomb, 1976; N'Goran et al., 2016)	(Tidori et al., 1975; Soro et al., 2015)	(Adanléhoussi et al., 2003)	(Blench, 1999; Adebambo, 2001; Daikwo et al., 2018)	(Agbemelo, 1983; Hoste et al., 1988; Alkoiret et Gbangboche, 2005; Adjou Moumouni, 2006)

## Production de viande

Bien que ce bétail soit de format très petit, il donne de bons rendements en boucherie. La race Lagunaire a un rendement moyen de 54 % et les Muturu, 52 % selon (Domingo, 1976). Au Libéria les Muturu représentent 38% des bovins utilisés en boucherie après les Ndama avec 50% (Karnuah *et al.*, 2018). Le poids vif du mâle Muturu enregistrés au Nigeria 156,8 kg tandis que la femelle était de 139,0 kg. Les poids à la naissance observés ont été de 13,9 kg pour les femelles et 13,7 kg pour les mâles en milieu paysan (Tableau 2). Le veau Muturu présente un GMQ de 0,31 kg/jour (Roberts et Gray, 1973).

Quant à la race Lagunaire, le poids vif du mâle enregistré a été de 200 kg tandis que la femelle était de 160 kg. Les poids à la naissance observés ont été compris entre 10 et 12 kg pour les femelles et 10 kg pour les mâles (Tableau 2). Le poids des carcasses variait de 90 à 100 kg, avec des pourcentages d'habillage de 46 à 53 % (Ferguson, 1967; Domingo, 1976; Maule, 1990). Ce paramètre représente la partie du poids de l'animal vivant qui est transférée au poids de la carcasse chaude. Malgré les différences de poids vif, les pourcentages d'habillage des bovins Muturu et zébu dans la région sont comparables. Les pourcentages de dressage des bœufs Muturu étaient similaires à ceux des mâles entiers et variaient de 46 à 53 % (Ferguson, 1967). La qualité de la viande du bovin Muturu a été jugée excellente.

## PARAMÈTRES DE REPRODUCTION

### Chez la femelle

Selon la (FAO, 1957) l'âge des génisses au moment du premier vêlage oscille entre 3 ans en Côte d'Ivoire et 4 ans au Togo. L'intervalle moyen entre les vêlages est de 24 mois. L'intervalle moyen entre vêlages de la vache Lagunaire correspond à la production de 0,86 veau par an, soit une perte de 0,14 veau par rapport aux élevages des milieux tempérés. Une étude de la fécondité de la race Lagunaire à travers la détermination de l'âge au premier vêlage et de l'intervalle entre vêlage a été effectuée par Alkoiret et Gbangboche (2005). Ainsi, ces auteurs ont prouvé qu'à la ferme de Samiondji au Bénin, l'âge au premier vêlage de la race Lagunaire est moins précoce (1 373 jours soit 48 mois). Par contre, l'intervalle entre vêlages est court de 426 jours (14 mois). Aussi, l'année de vêlage, la saison de vêlage ainsi que le rang de lactation ont significativement influencé l'intervalle entre vêlages, alors que seule l'année de naissance a significativement influencé l'âge au premier vêlage (Alkoiret et Gbangboche, 2005).

L'âge au premier vêlage allait de 24 mois dans des conditions villageoises améliorées à 60 mois dans des conditions villageoises traditionnelles (Rege *et al.*, 1994b). De même, les intervalles moyens entre les découpages consécutifs variaient de 12 mois dans des conditions de station à 24 mois dans des conditions villageoises, tandis que le nombre de vêlage variait de 34 % sous gestion traditionnelle à 70 % sous gestion améliorée. La plupart des vaches de la race Lagunaire (74 %) ont tendance à vêler au moins tous les deux ans dans des conditions villageoises au Togo, avec seulement 13 % de vêlage tous les trois ans et le reste chaque année (Agbemelo, 1983).

Les taurins Muturu quant à eux présentent un âge de premier vêlage de 38 mois et un intervalle inter-vêlages de 735 jours pour le bovin Muturu de forêt et 28,3 mois avec un intervalle inter-vêlage de 417 jours pour le bovin Muturu de savane (Blench, 1999).

### Chez le mâle

Selon Konfe (2014) le taurin Lagunaire adulte présente une circonférence scrotale moyenne de 22,8 cm. Le volume moyen de l'éjaculat récolté était de 2,23 ml pour 48 individus échantillonnés. Les motilités massales et individuelles moyennes sont respectivement de 3,67 et de 3,27. La concentration en spermatozoïdes ainsi que le nombre de spermatozoïdes par éjaculat chez la race Lagunaire est de 0,92 ( $\times 10^9/\text{ml}$ ) pour un nombre total de spermatozoïdes de 2,12 ( $\times 10^9/\text{ml}$ ). Le Taux de spermatozoïdes vivants de 73,8 % a été observé chez la race Lagunaire contre un taux de spermatozoïdes morts de 26,2 %. Les taux d'anomalies majeures et mineures étaient respectivement 4,9 % et 3,5 % chez le taureau Lagunaire. La motilité massale et la motilité individuelle sont des paramètres subjectifs qui dépendent fortement de l'appréciation de l'opérateur. Une note de motilité  $\geq 3$  est requise pour que le sperme soit congelable (Parez et Duplan, 1987). Dans cette étude, seule le taureau Lagunaire satisfait à cette condition.

## TRYPANO-TOLÉRANCE ET ADAPTATION AU MILIEU

Les taurins à courtes cornes, en particulier la race Lagunaire, sont remarquablement adaptés aux environnements difficiles et à la trypanosomose. Avant l'apparition des trypanocides et des méthodes de lutte anti-vectorielle, ces races étaient d'ailleurs les seules capables de survivre dans les zones infestées de tsé-tsé (CIRAD, 2015). Les bovins Muturu du Nigeria à l'instar de certaines races bovines du Nigeria ont été soumis à un long processus de sélection naturelle, et ont ainsi acquis des capacités adaptatives et traits productifs pour les conditions écologiques du Nigeria (Primo, 1987). Cette race a également été signalée comme étant trypanotolérante (Adeniji, 1983). Elle se trouve dans régions côtières de l'Afrique de l'Ouest, fortement infestées de glossines. L'adaptation et la sélection faisant, ces bovins sont devenus tolérants à la trypanosomose, résistants aux tiques et aux maladies transmises par les tiques (Gwaza and Momoh, 2016). Une infection expérimentale à *Trypanosoma brucei* chez des bovins Borgou et Lagunaire réalisée par Doko *et al.* (1996) a montré que les races Borgou et Lagunaire présentent un niveau élevé de trypanotolérance, avec toutefois de grandes variations intra-raciales (Doko *et al.*, 1997).

Les bovins de race Lagunaire infectés ont présenté une maladie subclinique ou clinique très bénigne caractérisée par un léger abattement et réduction de l'appétit pendant quelques jours, suivie d'une guérison clinique spontanée en moins de 20-30 jours. Une étude sur la comparaison des caractères phénotypiques liés à la trypanotolérance chez cinq races bovines menée par Berthier *et al.* (2015) a montré que la race Lagunaire présentait les meilleurs indicateurs de contrôle de l'anémie. Selon l'histoire de la race et l'agroécologie, la forte trypanotolérance de la race Lagunaire n'est pas surprenante, puisque cette race habite une région sous un climat soudano-guinéen à forte pression glossinaire infesté par plusieurs espèces de glossines des groupes *morsitans*, *palpalis* et *fusca* (Codjia, 1981; Wint et Rodgers, 2000), et subit ainsi une forte pression sélective depuis des centaines de générations.

## RÔLES SOCIO-ÉCONOMIQUES DES RACES TAURINES NAINES D'AFRIQUE DE L'OUEST

Dans le passé de nombreux mythes ont entouré la race Muturu au Nigeria. Il était considéré comme un sacrilège d'en tuer ou d'en consommer la viande. Cet état de fait a eu pour conséquence que très peu de villages en possédaient où en élevaient (Ahamefule *et al.*, 2007). Les taurins Muturu a une protection spéciale et peut errer librement dans les champs et détruire les récoltes avec impunité, car considéré sacrés. Dans l'est du Nigeria où la plupart des têtes se retrouvent, ils étaient utilisés auparavant pour des sacrifices et rites religieux païens et traditionnels. Tandis que dans certaines communautés ils étaient utilisés en tant que symboles de statut de chefs influents (Ahamefule *et al.*, 2007). Les taurins Muturu ont une place importante dans la culture traditionnelle et cela affecte leur gestion et marketing. Adebambo (2001) révèle également le fait que les de taurins Muturu soient élevés pour des sacrifices à cérémonies majeures à telle enseigne que les restrictions rituelles entourent leur gestion. Aussi cet auteur explique la diminution des populations et l'érosion génétique par le fait que les mâles soient abattus pour les cérémonies. Cela entraîne une pénurie de mâles reproducteurs. Cela agit sur la productivité des élevages sous gestion traditionnelle.

Les demandes de bétail Muturu de savane adulte augmentent que lors d'occasions spécifiques, comme les enterrements, les mariages spéciaux et les festivités. Ces occasions ne sont pas des pratiques de routine, de sorte que la demande d'animaux de finition Muturu est de courte durée. Les ventes en dehors des périodes festives sont non seulement difficiles, mais elles attirent également de mauvaises valeurs monétaires. En raison des réalités économiques actuelles au Nigéria, certaines cérémonies ne nécessitent pas de cérémonies flamboyantes pouvant nécessiter l'utilisation du bétail Muturu. Le remplacement des cultures par une diffusion rapide du christianisme dans les communautés rurales avait également encouragé le déclin de l'utilisation du bétail de savane Muturu pour les festivités (Gwaza et Yahaya, 2018). Au Bénin par contre l'objectif de production des éleveurs de bovins de race Lagunaire de la vallée de l'Ouémé est la production de viande (Tobada *et al.*, 2018).

## MENACES D'ABSORPTION ET D'EXTINCTION DES RACES LOCALES LAGUNAIRE

Les menaces d'absorption et d'extinction des taurins nains d'Afrique de l'Ouest diffèrent à travers les pays où elle existe (Côte d'Ivoire, Ghana, Togo, Bénin, Nigeria, Cameroun, Guinée Bissau. En ce qui concerne l'Afrique de l'ouest, la race lagunaire ne représente que 1% du cheptel bovin (Adebambo, 2001). Aillerie (1926), avait signalé le déclin de la race Lagunaire. La raison évoquée par certains auteurs pour justifier cette extinction est la négligence. De plus, cette race ne fait l'objet d'aucun programme de recherche et de développement en Côte d'Ivoire. Le même constat a été effectué au Togo (DAD-IS, 2020). Au Bénin, les effectifs de la race sont nettement meilleurs.

La reproduction des animaux menacés d'extinction est compromise par l'abattage des rares géniteurs pour des sacrifices lors des cérémonies coutumières (Adebambo, 2001). L'altération et la destruction des habitats résultant de la croissance démographique, la surexploitation à des fins de commerce ou de subsistance, les conflits (meurtre du cheptel) sont également responsables de la perte de la

diversité génétique des bovins de race locale (Konfe, 2014). L'intrusion des zébus sahéliens qui continuent à gagner du terrain à cause de l'évolution des écosystèmes est responsable, d'un certain degré de métissage décelable dans bon nombre de populations taurines (Moazami Goudarzi *et al.*, 2001). Adeniji (1983) affirmait la possibilité que les croisements stabilisés dans les zones infestées de glossines remplacent les races indigènes puisqu'elles sont également trypanotolérants. Ces faits ont été confirmés par (Gwaza *et al.*, 2018) qui affirme que les populations de Muturu de savane dans les états de Nasarawa, Taraba, Kogi et de Niger du Nigéria avaient tous été éliminées. L'étude a indiqué que la taille des populations de la savanah Muturu au Nigéria, environ 1 600 se trouvaient uniquement dans l'État de Benue. Les potentiels de production des métis en termes de la taille du corps et de l'efficacité de la reproduction avec l'augmentation du sang de zébu aggravent érosion génétique des races taurines locales en générale; les croisés constituant jusqu'à 70% des bovins trypanotolérants qui se reproduisent au Nigéria (Hammond et Leitch, 1996). Ainsi, les Muturu, Ndama et Keteku sont en voie de disparition en raison de nombreux croisements incontrôlés avec des races exotiques, il y a aussi l'intérêt décroissant chez les agriculteurs, car les tracteurs remplacent la traction animale, en particulier dans le Zone Sud. La population des races bovines Muturu, du Nigéria ont diminué à un tel niveau que leur survie est menacée et sont donc danger imminent d'extinction (Gwaza et Momoh, 2016). Par exemple, cette race a été progressivement remplacée dans l'état d'Oyo par la race white fulani plus grande et aux aptitudes laitières plus intéressantes (Jabbar et Diedhiou, 2003). Aussi, la guerre civile au Nigéria a également un effet significatif sur l'élimination de certaines races bovines indigènes, en particulier la race forestière (Stetshwaelo et Adebambo, 1992)

## PERSPECTIVES

Les taurins nains d'Afrique de l'Ouest représentent une ressource génétique longtemps négligée à cause de son format. Aussi, les métissages avec d'autres races de grand gabarit et leur remplacement par des races plus productives ont eu pour conséquence la réduction de ses effectifs. Aujourd'hui, leur aire naturelle a été considérablement réduite et ces races sont menacées d'extinction dans plusieurs pays. Pourtant, ces races possèdent un avantage certain en termes de trypanotolerance, d'adaptation au milieu tropicale humide et de résistance aux maladies de ces milieux. De plus aucune étude inclusive tant au plan phénotypique que génotypique sur ces populations n'a été effectuée. On ne sait donc pas véritablement s'il s'agit d'une ou plusieurs races. La structure de la population et les spécificités de chaque pôle génique ne sont également pas connues. Les mesures suivantes doivent être prises pour s'assurer que les connaissances des taurins nains d'Afrique de l'Ouest sont améliorées et que ces populations soient sauvegardées. Il faut donc:

1. Caractériser toutes les populations de taurins nains d'Afrique de l'Ouest et évaluer l'état de la ressource.
2. S'assurer que les éleveurs troupeaux de taurins nains d'Afrique de l'Ouest soient organisés en coopératives d'élevage afin que les stratégies d'amélioration génétique et de conservation puissent être appliquées sur les troupeaux de la coopérative.

3. Il est nécessaire d'introduire des programmes de renforcement des capacités pour que les éleveurs de taurins nains d'Afrique de l'Ouest puissent postuler amélioration génétique, intervention dans la chaîne de valeur et valeur activités d'addition elles-mêmes.

4. Étudier la physiologie nutritionnelle et la résistance aux trypanosomes du bétail lagunaires et Muturu de façon à tirer le plus de ressources possible de leur capacité à fournir de la viande dans les régions où les trypanosomoses sont enzootiques.

## CONCLUSION

La race taurine Lagunaire et Muturu sont adaptées, trypanotolérantes et sont à mesure de fournir des solutions pour la diversification de la production animale dans les pays où l'on la trouve. Mais, elles sont menacées d'extinction. De plus, les gouvernements semblent peu conscients de l'intérêt de la sauvegarde de ces races dans la société. Les menaces d'absorption et d'extinction qu'elle subit illustrent la nécessité urgente de mettre en œuvre de nouveaux programmes appropriés d'amélioration génétique et de conservation de la race bovine Lagunaire pour mettre fin à l'érosion génétique de ce cheptel. Une caractérisation phénotypique et moléculaire permettrait de mieux faire ressortir les traits communs et distinctifs de cette race aux autres races taurines tels que la race Baoulé et la race Ndama et les différentes sous populations la constituant en Côte d'Ivoire à l'instar de l'Afrique de l'Ouest et du Cameroun. Aussi, il conviendrait d'actualiser les connaissances sur le système d'élevage des races Lagunaire et Muturu pour détecter les déterminants de sa production. Il n'y a pas de conservation durable sans des éleveurs engagés. Néanmoins, cette implication a besoin d'être suscitée et encouragée par les pouvoirs publics en soutenant les éleveurs spécialisés dans la race. Ceci permettra de conserver la biodiversité pour les générations futures, le maintien des fonctions socioculturelles de certains animaux et de lutter contre la pauvreté.

## RÉFÉRENCES

Aboagye G. S., C. L. Tawah, J. E. O. Rege (1994). Shorthorn cattle of West and Central Africa III. Physical, adaptive and special genetic characteristics. *World Anim. Rev.*, 78: 22–32.

Adanléhoussi A., H. Bassowa, A. Défly, K. Djabakou, K. Adoméfa, N. T. Kouagou (2003). Les performances de la race taurine Somba en milieu paysan. *Tropicicultura*, 21: 135–141.

Adebambo O. A. (2001). The Muturu: A rare sacred breed of cattle in Nigeria. *Anim. Genet. Resour. Génétiques Anim. Génétiques Anim.*, 31: 27–36.

Adeniji K.O. (1983). Review of endangered cattle breeds in Africa ». In: *Animal genetic resources in Africa: high potential and endangered livestock*, 2<sup>nd</sup> OAU expert committee meeting on animal genetic resources in Africa, November 1983, Bulawayo, Zimbabwe, OAU Nairobi, Kenya: 24-30.

Ajoutou Moumouni P.F. (2006). Évaluation des performances zootechniques des bovins de race Borgou en sélection à la ferme d'élevage de l'Okpara, Bénin. Thèse de Doctorat en médecine vétérinaire. École Inter-Etats des Sciences et Médecine Vétérinaire de Dakar, n° 20, p. 121

Agbemelo K. (1983). Contribution à l'étude des races bovines autochtones du Togo: La race Lagunaire. Mémoire d'Ingénieur des Sciences Appliquées.

Ahamefulé F. O., O. Ohaeri and J. A. Ibeawuchi (2007). Early lactation milk yield and composition of Muturu, N'Dama and White Fulani cows managed semi-intensively in a hot-humid environment. *J. Anim. Vet. Adv.*, 6: 1458–1463.

Aillierie R.E. (1926). L'élevage en Côte d'Ivoire. Thèse Doctorat Vétérinaire. ENVA, pp. 70.

Alkoiret T. I., A. B. Gbangboche (2005). Fécondité de la vache Lagunaire au Bénin. Age au premier vêlage et intervalle entre vêlages. *Rev. D'élevage Médecine Vét. Pays Trop.*, 58: 61-68.

Assogba BGC, Doha L, Alkoiret TI, Tourrand JF. (2017). Productivité des élevages de taurin Lagunaire installés sur les îlots à risques d'inondation de la commune lacustre de Sô-Ava au sud Bénin. In *Le Pastoralisme dans le Courant des Changements Globaux: défis, enjeux, perspectives* Dakar, 20-24 Novembre 2017, Dakar, Sénégal.

Baldé A. T. (2017). Caractérisation phénotypique du taurin Ndama du Sénégal. Mémoire de Master II en Biologie Animale, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 35.

Berthier D., M. Peylhard, G.-K. Dayo, L. Flori, S. Sylla, S. Bolly, H. Sakande, I. Chantal and S. Thevenon (2015). A comparison of phenotypic traits related to trypanotolerance in five West African cattle breeds highlights the value of shorthorn taurine breeds. *PLoS One*, 10: e0126498.

Blench R. (1999). Traditional livestock breeds: Geographical distribution and dynamics in relation to the ecology of West Africa. Working Paper 122, Overseas Development Institute, Portland House, Stag Place, London, 69 p.

Boma S., Y. Nuto, G.-K. Dayo, B. Bonfoh, T. N'Feide (2018). Caractérisation morpho-biométrique des populations bovines locales sans bosse du Togo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 12: 431–445.

CIRAD (2015). Les taurins à courtes cornes, des races extrêmement tolérantes à la trypanosomose animales.

Codjia V. (1981). Trypanotolérance et immunité recherches sur les taurins de la république populaire du Bénin. Thèse de Doctorat de Médecine.

Coulomb J. (1976). La race N'Dama: quelques caractéristiques zootechniques. *Rev. Délevage Médecine Vét. Pays Trop.*, 29: 367–380.

Da Costa A. M. (1933). L'élevage et les services vétérinaires dans les domaines portugais d'outre-mer. Bertrand (Irmãos).

Daikwo S. I., D. M. Ogah, A. J. Amuda, U. A. Dike (2018). Prediction of Body Weight of Savanna Muturu Cattle (*Bos brachyceros*). *Asian J. Res. Anim. Vet. Sci.*, 2: 1–6.

Doko A., A. Verhulst, V. S. Pandey, P. Büscher, V. Lejon (1996). Détection d'antigènes circulants au cours d'une infection expérimentale à *Trypanosoma brucei brucei* chez des bovins Borgou, Lagunaire et zébus Bororo blancs. *Rev. D'élevage Médecine Vét. Pays Trop.*, 49: 207–211.

Doko A., A. Verhulst, V. S. Pandey, P. Van Der Stuyft, A. doko (1997). Artificially induced *Trypanosoma brucei brucei* infection in Lagune and Borgou cattle in Benin. *Vet. Parasitol.*, 69: 151–157.

Domingo A. (1976). Contribution à l'étude de la population bovine des États du Golfe du Bénin. Thèse de Docteur Vétérinaire, Agence de coopération, culturelle et technique, Paris, France, p. 143

Doutressoulle G., Dubresson A., Moreau S., Raison J.P. (1947). L'élevage en Afrique occidentale française. Larousse Paris, 298p.

Ekpo J. S., U. H. Udo, I. P. Solomon, I. S. Sam (2019). Comparative Evaluation of Milk Samples from Muturu and Bunaji Cows under Extensive System of Management In humid tropics. *J. Agric. Vet. Sci.*, 12: 05–08.

Epstein H. (1971). The Origin of the Domestic Animals of Africa. Africana Publication Corporation, New York, p 214-220.

Ezekwe A. G., N. Machebe (2005). Milk composition of Muturu cattle under the semi-intensive system of management. *Niger. J. Anim. Prod.*, 32: 287–292.

FAO (1957). Les bovins d'Afrique: types races. Rome, 317p.

Ferguson W. (1967). Muturu cattle of Western Nigeria. I. Census, distribution, husbandry and behaviour of village herds. *J. West Afr. Sci. Assoc.*, 12: 29–36.

Fricke W. (1979). Cattle husbandry in Nigeria, a study of its ecological conditions and social geographical differentiations. Heidelberg Geographischew Arbeiten Geographischen Institute dar Universität Heidelberg, 330 pp

- Grignon LY B. (1985). Mission de consultation sur le commerce et la multiplication du bétail trypanotolérant, Projet FAO GCP/RAF/190/ITA. Ouagadougou. 217 pages.
- Gwaza D. S., O. M. Momoh (2016). Endangered indigenous cattle Breeds of Nigeria a case for their conservation and management. *World Sci. News*, 30: 68–88.
- Gwaza D. S., A. Yahaya (2018). Effect of interaction between economic driving force, value chain intervention, communal crisis and uncontrolled breeding on genetic resource abundance of the Nigerian savannah muturu cattle. *J. Res. Rep. Genet.*, 2: 21–29.
- Gwaza D. S., A. Yahaya, M. Ageba (2018). Population trends, distribution, status and strategies for genetic improvement and conservation of the savannah muturu on free range in the Benue trough of Nigeria. *J. Res. Rep. Genet.*, 2: 19–25.
- Hammond, K., Leitch, H.W. (1995). FAO's Global Programme for the Management of Farm Animal Genetic Resources. Proceedings of the Joint EAAP-FAO-CIHEAM International Symposium on Mediterranean Animal Germplasm and Future Human Challenges Benevento Italy, pp. 1–10.
- Hoste C.H., E. Chalon, G. D'ieteren, J.C.M. Trail (1992). Trypanotolerant livestock in west and central Africa, v. 3, Decades Results.
- Hoste C. H., E. Chalon, G. D'ieteren, J. C. M. Trait. (1988). Le bétail trypanotolérant en Afrique occidentale et centrale. *Bilan Une Decennie* 3.
- ILCA. (1979). Trypanotolerant Livestock in West & Central Africa. International Livestock Centre for Africa.
- Jabbar M. A., M. L. Diedhiou (2003). Does breed matter to cattle farmers and buyers?: Evidence from West Africa. *Ecol. Econ.*, 45: 461–472.
- Kanh K. H. M. (2020). Caractérisation des systèmes d'élevage et des populations de bovins ndama des régions de Kolda et de Ziguinchor (Sénégal). Thèse de Doctorat Génétique et Amélioration animale. Université Felix Houphouët-Boigny, Abidjan.
- Karnuah A. B., G. Dunga, A. Wennah, W. T. Wiles, E. Greaves, R. Varkpeh, R. Osei-Amponsah, P. Boettcher (2018). Phenotypic characterization of beef cattle breeds and production practices in Liberia. *Trop. Anim. Health Prod.* 50: 1287–1294.
- Konfe, H. (2014). Étude spermologique des bovins de races locales de l'Afrique de l'Ouest: cas du Borgou, du taurin Lagunaire, du taurin N'Dama et du Zébu Peulh. Master en Production Animale et Industries Animales. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, 87p.
- Lhoste P. (1978). Les races taurines de L'Ouest Africain: Situation et Conservation. *Bull. Tech. Dép. Génétique Anim.*, 126–128.
- Lombo Y., D. M. A. Belemsaga, K. Adomefa, I. Bouraima, A. Adanlehousi, K. B. Batawui, M. D. Kotoe (2014). Les bovins trypanotolérants de l'Afrique de l'ouest. *J. Rech. Sci. Univ. Lomé*, 16: 99–124.
- Maule J. P. (1990). The cattle of the tropics. Roslin, Midlothian, UK, Centre for Tropical Veterinary Medicine, 225 p.
- Moazami Goudarzi, K., D. Belemsaga, G. Ceriotti, D. Laloë, F. Fagbohoun, N. T. Kouagou, I. Sidibé, V. Codjia, M. C. Crimella, F. Grosclaude. (2001). Caractérisation de la race bovine Somba à l'aide de marqueurs moléculaires. *Rev. élev. Méd. Vét. Pays Trop.*, 54: 129–138.
- Monstma G. (1959). Some notes on the conformation of West African Dwarf cattle. *Trop. Agric. Trinidad*, 36: 299–303.
- MPARH (2003). Rapport national sur l'état des ressources zoogénétiques.
- N'Goran K. E., Z. L. Gbodjo, D. D. Noel, L. H. Désiré, S. D. Paulin, D. Ladji (2016). Production and Reproduction Parameters Analysis of N'Dama Cattle Breed in the Dairy Station of Yamoussoukro, in the Savannah Zone, in Côte d'Ivoire. *Int. J. Res. Rev.*, 3: 15–20.
- Olaloku, E. A. (1976). Milk production in West Africa: objective and research approaches. *J. Assoc. Adv. Agric. Sci. Afr.*, 3:5-13.
- Oloruntobi I. A. (1994). Management system and the body dimension characteristic of the Muturu in Southern Nigeria. M. Sc. Thesis, University of Ibadan, Nigeria.
- Parez M., J. M. Duplan (1987). L'insémination artificielle bovine: reproduction, amélioration génétique. Institut technique de l'élevage bovin et Union nationale des coopératives d'élevage et d'insémination artificielle.
- Pécaud G. L. (1912). L'élevage et les animaux domestiques au Dahomey. Imprimerie du Gouvernement général.
- Pierre C. (1906). L'élevage dans l'Afrique Occidentale Française. A. Challamel.
- Primo A. T. (1987). Conservation of animal genetic resources: Brazil National Programme. *FAO Anim. Prod. Health Pap.* FAO.
- Rege J. E. O. (1999). The state of African cattle genetic resources. I. Classification framework and identification of threatened and extinct breeds. *Anim. Genet. Resour. Inf.*, 25: 1–26.
- Rege J. E. O., G. S. Aboagye, C. L. Tawah (1994)a. Shorthorn cattle of West and Central Africa. I. Origin, distribution, classification and population statistics. *World Anim. Rev.*, 78: 2–13.
- Rege J. E. O., G. S. Aboagye and C. L. Tawah (1994)b. Shorthorn cattle of West and Central Africa. IV. Production characteristics. *World Anim. Rev.* 78: 33–48.
- Rege J. E. O., C. L. Tawah (1999). The state of African cattle genetic resources II. Geographical distribution, characteristics and uses of present-day breeds and strains. *Anim. Genet. Resour. Génétiques Anim. Généticos Anim.*, 26: 1–25.
- RIM (1992). Niger. Livest. Resour. Four Vol. Rep. Fed. Gov. Niger. RIM Ltd. Exec. Summ. Atlas II Natl. Synth. III State Rep. IV Urban Rep. Commer. Manag. Livest. Surv. Rep.
- Roberts C. J., A. R. Gray (1973). Studies on trypanosome-resistant cattle. I. The breeding and growth performance of N'dama, Muturu and Zebu cattle maintained under the same conditions of husbandry. *Trop. Anim. Health Prod.*, 5: 211–219.
- Seignobos C., É. Thys, C. Meyer (1998). Des taurins et des hommes: Cameroun, Nigéria. Paris, Orstom, 399p.
- Shaw A.P.M., C.H. Hoste (1987). Trypanotolerant cattle and livestock development in West and Central Africa. Vol. I. The international supply and demand for breeding stock, FAO. Animal Production and Health Paper 67/1, FAO, Rome, Italie.
- Sokouri D. P., C. V. Yapi-Gnaoré, A. S. P. N'Guetta, N. E. Loukou, B. J. Kouao, G. Touré, A. Sangaré, A. Kouassi (2009). Utilisation et gestion des races taurines locales sous la pression des croisements avec les zébus dans les régions Centre et Nord de la Côte d'Ivoire. *J. Anim. Plant Sci.*, 5: 456–465.
- Soro B., P. D. Sokouri, G. K. Dayo, A.S.P. N'guetta, C. V. Yapi-Gnaoré. (2015). Morphometric and physical characteristics of Baoulé cattle in the " Pays Lobi" of Côte d'Ivoire. *Livestock Research for Rural Development*, 27: 124.
- Stetshwaelo L.L. Counsel, L., Adebambo, A.O. (1992). Genetic conservation of domestic livestock, Vol. 2; od. Lawrence Anderson. Imres. Bodo. CAB International, walling. Pp. 87-102.
- Thys E. (1998). Les taurins du Sud-Ouest (Cameroun); données zootechniques disponibles. *Taur. Hommes Cameroun Niger*. Editions de l'ORSTOM, 327:331
- Tidori E., H. Serres, D. Richard, J. Ajuziogu (1975). Étude d'une population taurine de race Baoulé en Côte-d'Ivoire. *Rev. Élev. Médecine Vét. Pays Trop.*, 28: 499-511.
- Tobada P. C., S. G. Ahounou, O. I. Dotché, M. Dilanon, C. Ahokossi, I. A. K. Youssao (2018). Caractéristiques de l'élevage des bovins de race lagunaire dans la vallée de l'Ouémé. *Rev. Int. Sci. Appliquées*, 1: 20–28.
- Touré SM. (1977). La trypanotolérance. Revue de connaissances. *Rev. Élev. Médecine Vét. Pays Trop.*, 30: 144–157.
- Trail J. C. M., C. H. Hoste, Y. J. Wissocq, P. Lhoste, I. L. Mason (1979). Trypanotolerant livestock in West and Central Africa. *Volume 2. Country studies*. Addis Abeba, Ethiopie. ILCA/FAO/UNEP, 303p (ILCA Monograph).
- UA-BIRA (Bureau Interafricain des Ressources Animales de l'Union Africaine) (2017). La Lagunaire: une race bovine en voie de disparition.
- Wint, W., D. Rodgers (2000). Consultants report: predicted distributions of tsetse in Africa. FAO, Rome, 62p.
- Yapi-Gnaore C. V., B. A. Oya, Z. Ouattara (1996). Revue de la situation des races d'animaux domestiques de Cote d'Ivoire. *Anim. Genet. Resour. Génétiques Anim. Généticos Anim.*, 19: 91–108.

# SOMMAIRE

### Production Végétale et Environnement

Efficacité d'une souche de <i>Bacillus velezensis</i> dans le biocontrôle de la pourriture racinaire de la betterave à sucre due à <i>Sclerotium rolfsii</i> <i>Michelle Gaëlle Siméone BIDIMA, Nouredine CHTAÏNA, Brahim EZZAHIRI, Mohammed EL GUILLI, Aymen KHEZANE, Ilham BARAKAT</i> .....	455
Évaluation de la productivité de cinq cultivars de bananiers associés aux légumineuses arborescentes à Kinshasa, RD Congo <i>Jean Christian BANGATA BITHA NYI MBUNZU, Patrick MOBAMBO KITUME NGONGO</i> .....	461
Modulation de l'expression des gènes de rédoxines par interférence ADN chez le blé <i>Abderrakib ZAHID</i> .....	469
Modélisation spatiale du transfert des nitrates dans un bassin versant agricole: Cas du bassin versant de Ono (Côte d'Ivoire) <i>Tiangoua KONE, Béatrice Assamoi AMA-CAUPHYS, Lydie Clarisse Amenan MANGOUIA-ALLALI, Jean-Claude Konan N'DRI, Jean-Marie Pétémanagnan OUATTARA, Lacina COULIBALY</i> .....	475
Flore adventices des vergers de l'anacardier ( <i>Anacardium occidentale</i> L.) en Haute et Moyenne Casamance <i>Samba Laha KA, Rahimi MBALLO, Moustapha GUEYE, Roger Nkoa ONDOUA, Mame Samba MBAYE, Kandjoua NOBA</i> .....	485
Flore adventices des bananeraies du Sud-Est Sénégal: Caractérisation de la flore et niveau d'infestation des espèces <i>Samba Laha KA, Rahimi MBALLO, Roger Nkoa ONDOUA, Ghislain KANFANY, Abdoul Aziz CAMARA, Kandjoua NOBA</i> .....	491

### Économie Agricole et Rurale

Investissements publics, développement agricole et croissance économique en Côte d'Ivoire <i>Paul-Alfred Kouakou KOUAKOU</i> .....	497
Incidence de la dépréciation du franc congolais sur les prix de produits carnés vendus sur le marché de Kisangani <i>Gaston ENAMBUMBI, Salumu Prosper KIMWANGA, Léonard Muanasaka KABUITA, Alain Katayi LUKUSA</i> .....	503
Impact économique et social des activités de l'Économie Sociale et Solidaire: Cas des coopératives laitières du Moyen Atlas <i>Najib TIROU</i> .....	510
Analyse des effets des facteurs d'intensification sur les types d'exploitations agricoles du mil sanio au Sénégal <i>Sandjiry DIOP, Madické Mbodj NDIAYE, Ibrahima DIALLO, Babacar SENE</i> .....	517
Analyse des déterminants du choix l'approvisionnement des ménages en viande à Dakar (Sénégal) <i>Sandjiry DIOP, Pape Ndary NIANG</i> .....	524

### Ressources Naturelles et Foresterie

Évaluation des approches et techniques de gestion durable des terres dans le Rif Oriental <i>Ayoub ATTOU, Mohamed SABIR, Mustapha NAÏMI, Mohamed CHIKHAOUÏ, Othman MACHRAFI</i> .....	530
Analyse SWOT de la filière des truffes au Maroc: un plaidoyer pour la valorisation d'une ressource naturelle <i>Soukaina HAKKOU, Nadia MACHOURI, Mohamed SABIR</i> .....	540
Diversité floristique des forêts communautaires de la préfecture de Dankpen au Togo <i>Wouyo ATAKPAMA, Hodabalo EGBELOU, Foussenti FOLEGA, Chakourou AFO, Komlan BATAWILA, Koffi AKPAGANA</i> .....	548
Variabilité morphologique de la population de Baobab ( <i>Adansonia digitata</i> L.) dans la ville de Ziguinchor, Sénégal <i>Mohamed Mahamoud CHARAHABIL, Mapathe DIENG, Abdoulaye DIOUF, Mariétou TENDENG, Landing NDIAYE, Paul NDIAYE</i> .....	558
Propriétés biologiques et pharmacologiques de <i>Kigelia africana</i> (Lam.) Benth en médecine traditionnelle humaine et vétérinaire <i>Christophe IWAKA, Erick Virgile AZANDO, Esaïe TCHETAN, Alissan S. ASSANI, Abiodoun Pascal OLOUNLADÉ, Mawulé Sylvie HOUNZANGBÉ-ADOTÉ</i> .....	567
Diversité des abeilles sauvages de la Réserve de Biosphère de Luki (RD Congo) <i>Tresor BAKAMBANA, Joseph LUMANDE, Julien PUNGA, Erick BUKAKA, Hyacinthe LUKOKI, Jonas NAGAHUEDI</i> .....	580

### Production et Santé Animales

Caractérisation épidémiologique, clinique et financière de l'épizootie de 2018 de la fièvre aphteuse dans les élevages bovins au Burkina Faso <i>Dieudonné DAHOUROU, Kadré SANFO, Mireille Catherine KADJA, Amadou TRAORE</i> .....	589
Effet de la litière de biochar à base de rafles de maïs sur les performances zootechniques du poulet de chair au Nord Bénin <i>Nadège DEDEHOU, Sourébou Hilair SANNI WOROGO, Rodrigue V. Cao DIOGO, Milognon Boris BEHINGAN, Ibrahim ALKOIRET TRAORE</i> .....	594
Risque de transmission potentielle des infections bactériennes par les mouches synantropes en zone urbaine de Côte d'Ivoire <i>David KOMONO, Biégo Guillaume GRAGNON, Lydie Aya KOFFI</i> .....	599
Impact de l'exploitation aurifère artisanale et clandestine sur la distribution des Monogènes parasites branchiaux de <i>Clarias gariepinus</i> <i>Amani Reine Elisabeth KOUADIO, Enoutchy Fabrice BOUAH, Stanislas Silvain YAO, Valentin N'DOUBA</i> .....	608
Les taurins nains à courtes cornes dans le cheptel bovin ouest africain: Cas des races Lagunaire et Muturu <i>Stéphane AKA, Brahima SORO, Michael Herbert Kpahé KANH, Isidore Kouadio KPANDJI, Mathurin KOFFI, Didier Paulin SOKOURI</i> .....	615