

CAMES

Historique

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

Missions

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

Organisation

Le Conseil des Ministres

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

Le Comité des Experts

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

Le Comité Consultatif Général (CCG)

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

INSTRUCTIONS AUX AUTEURS

Politique éditoriale

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

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

Toutes les séries publient en moyenne deux numéros par an.

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

Soumission et forme des manuscrits

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

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

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

Langue de publication

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

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

Page de titre

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

Résumé

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

Introduction

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

Corps du sujet

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

Conclusion

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

La rédaction du texte

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

Remerciements

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

Références

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

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

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

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

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

Tableaux et figures

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

selon l'ordre d'appel dans le texte.

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

Photographies

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

Procédure de révision

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

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

REDACTEURS EN CHEF DES REVUES

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

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

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

- **Sciences de la santé:**

Pr TOURE Meissa mtoure@ised.sn (Dakar)

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

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

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

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

- **Littérature, langues et linguistique:**

Pr AINAMON augustin ainamonaugustin@yahoo.fr (Cotonou)

- **Sciences humaines:**

Pr KADANGA Kodjona kkadanga59@yahoo.fr (Lomé)

- **Sciences économiques et de gestion:**

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

- **Sciences juridiques et politiques:**

Pr SOMA Abdoulaye tikansonsoma@yahoo.fr (Ouagadougou)

- **Pharmacopée et médecine traditionnelles africaines**

Pr OUAMBA Jean Maurille jm_maurille@yahoo.fr (Brazzaville)

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

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

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

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

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

SOMMAIRE

Caractéristiques physiques des nids de <i>Meliponula</i> nichant dans les termitières de <i>Macrotermes</i> des écosystèmes du corridor 1 du complexe Pô-Nazinga Sissili	6
Effets des fertilisants à base de champignons supérieurs sur la croissance et le développement de la tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>, L.) en culture semi hors sol dans la ville de Daloa, Côte d'Ivoire	11
Utilisation d'asticots pour la production animale : Composition bromatologique et impact de leur consommation chez le coquelet à Korhogo, Côte d'Ivoire	18
Performances zootechniques et de reproduction des taurins N'dama et zébus Goudali introduits au ranch Nyanga au Sud-Ouest du Gabon	28
Etude du déterminisme génétique de la couleur du tégument des graines du niébé [<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.]	35
Influence de <i>Porophyllum ruderale</i> (Jacq.) Cass. (Asteraceae), une adventice envahissante de la culture du maïs (<i>Zea mays</i> L.) en zone forestière (Adzopé) au Sud-Est de la Côte d'Ivoire	41
Réponse du mil (<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br.) à l'inoculation mycorhizienne en fonction de la distance d'apport d'engrais phosphatés	48
Quelle variété de manioc (<i>Manihot esculenta</i> Crantz) est la plus adaptée aux zones sèches de production agricole ? Une étude agromorphologique des variétés de manioc dans la Région du PORO, au nord de la Côte d'Ivoire.	56

Caractéristiques physiques des nids de *Meliponula* nichant dans les termitières de *Macrotermes* des écosystèmes du corridor 1 du complexe Pô-Nazinga Sissili

Tchirè Joséfa ZAGUE-SOME¹, Mamoudou TRAORE², Boubacar TRAORE², Bassirou Sogo SANON², Mamounata BELEM²

Résumé

Les mélipones ou abeilles sans dards nichent dans divers habitats repartis dans plusieurs écosystèmes. La connaissance et la préservation de ces différents habitats sont primordiales pour la survie de ces insectes. La présente étude, menée dans les écosystèmes (forêts, champs et jachères) des villages riverains du corridor 1 du complexe Pô-Nazinga-Sissili, vise à caractériser l'habitat et le nid de la mélipone nichant dans les termitières de *Macrotermes bellicosus*. Pour ce faire, huit (08) termitières abritant des nids de mélipones dans chaque écosystème, ont été examinées. Cette caractérisation a consisté en la mesure de la température et de l'humidité de la paroi interne des termitières, du diamètre du nid et du trou d'envol, de la profondeur, du poids du nid et de la quantité de miel. Les résultats ont révélé que le type d'écosystème n'a pas d'effet significatif sur la profondeur et le diamètre du trou d'envol des mélipones. Cependant, les nids trouvés dans les champs étaient généralement plus profonds ($62 \pm 9,4$ cm), plus larges ($24 \pm 3,74$ cm) et avaient un trou d'envol plus grand ($11,2 \pm 0,52$ cm) et localisés dans des termitières plus chaudes ($30 \pm 1,8$ °C) que ceux des forêts et des jachères. Néanmoins, les mélipones ont produit plus de miel dans les forêts ($0,14 \pm 0,09$ kg) et les jachères ($0,19 \pm 0,08$ kg) que dans les champs ($0,09 \pm 0,003$ kg). Le développement de la méliponiculture est donc possible au Burkina Faso au regard de la résistance de l'espèce dans diverses conditions climatique et environnementale.

Mots clés : Méliponiculture, termitières, nid de mélipone, miel, Burkina Faso

Abstract

Physical characteristics of *Meliponula* nests nesting in *Macrotermes* termite mounds in ecosystems of corridor 1 of the PO-Nazinga Sissili Complex

Stingless bees, or meliponines, nest in various habitats across multiple ecosystems. Understanding and preserving these different habitats are crucial for the survival of these insects. This study, carried out in the ecosystems (forests, fields, and fallows) surrounding villages adjacent to corridor 1 of the Pô-Nazinga-Sissili complex, aimed to characterize the habitat and nest of stingless bees nesting in *Macrotermes* termite mounds. To achieve this, eight (08) termite mounds harboring stingless bee nests in each ecosystem were examined. This characterization involved measuring the temperature and humidity of the internal walls of the termite mounds, the diameter of the nest and flight hole, the depth and weight of the nest, and the quantity of honey. The results revealed that the type of ecosystem had no significant effect on the depth and diameter of the stingless bee flight hole. However, nests found in fields were generally deeper (62 ± 9.4 cm), wider (24 ± 3.74 cm) with a larger flight hole (11.2 ± 0.52 cm) and were located in warmer termite mounds (30 ± 1.8 °C) than those in forests and fallows. Nevertheless, stingless bees produced more honey in forests (0.14 ± 0.09 kg) and fallows (0.19 ± 0.08 kg) than in fields (0.09 ± 0.003 kg). The development of meliponiculture is therefore feasible in Burkina Faso considering the species' resilience in various climatic and environmental conditions.

Keywords: Meliponiculture, termite mounds, stingless bee nest, honey, Burkina Faso

¹ Université AUBE NOUVELLE, UFR des Sciences et Technologie, Laboratoire de Systèmes d'Information - de Gestion de l'Environnement et du Développement Durable (LSI-GEDD), 06 BP 9283 Ouagadougou 06, Burkina Faso

² Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, BP 7192 Ouagadougou 01, Burkina Faso

1. Introduction

Les abeilles sans dards sont des insectes de l'ordre des Hyménoptères, de la famille des Apidés et de la tribu des Méliponini (Kwapong *et al.*, 2010). Les espèces de Mélipones varient en taille, en couleur et en comportement selon leur habitat spécifique. Les abeilles sans dard se trouvent dans les régions tropicales du monde, notamment en Amérique centrale et du Sud, en Australie et en Afrique. En Afrique, environ 26 espèces ont été identifiées, et parmi celles-ci, 9 ont été trouvées jusqu'à présent au Ghana (Kwapong *et al.*, 2010; Ndungu *et al.* 2017)). Ces espèces sont réparties dans six genres selon Ndungu *et al.* (2017) : *Cleptotrigona*, *Dactylurina*, *Hypotrigona*, *Liotrigona*, *Meliponula* et *Plebeina*. Au Burkina Faso, bien que la collecte de miel d'abeilles sans dard ait une longue tradition, il existe peu d'informations documentées sur ces abeilles. Seuls les genres *Meliponula* et *Hypotrigona* ont été formellement identifiés dans le cadre des travaux de Kanazoé *et al.* (2023).

Les abeilles sans dard, longtemps méconnues dans les milieux agricoles de plusieurs pays africains, jouent un rôle important dans la préservation de la biodiversité à travers la pollinisation des plantes. Ces espèces contribuent de manière significative à la pollinisation de plus de 60 plantes tropicales (Brosi, 2009). De plus, leurs produits tels que le pollen et la propolis présentent des propriétés antibactériennes, anti-inflammatoires et antioxydantes, offrant des perspectives d'utilisation médicale plutôt que simplement en tant qu'édulcorants (Mohammad *et al.*, 2021). Les mélipones sont d'excellentes pollinisatrices pour des espèces rudérales à petites fleurs, telles que *Aspilia pluriseta* Schweinf, *Tithonia diversifolia* et *Galinsoga parviflora* pour lesquelles la pollinisation par d'autres abeilles, telles qu'*Apis mellifera*, serait moins efficace, voire impossible (Ndayikeza *et al.*, 2014). Par ailleurs, le développement de la méliponiculture serait une grande opportunité de création d'emploi et de diversification de ressources dans les milieux ruraux selon Anguilet *et al.* (2018). Les abeilles sans dard démontrent une

remarquable adaptation à une diversité de sites de nidification, allant des nids vivants ou morts aux nids dans les fourmillières et termitières, en passant par les cavités dans les arbres, les branches, les rochers ou les constructions humaines, jusqu'aux nids largement auto-construits exposés dans les arbres (Tarakini *et al.*, 2021; Chakuya *et al.*, 2022). Toutefois, tout comme les abeilles avec dard, les abeilles sans dard sont vulnérables à la perte des habitats, en particulier, due à la déforestation et à la fragmentation de l'habitat, entraînant une diminution des sites de nidification et des plantes alimentaires (Brosi, 2009 ; Anguilet *et al.*, 2018). La méconnaissance de l'espèce, de son habitat et de son utilité, constitue la principale source de vulnérabilité des abeilles dans les campagnes du Burkina Faso.

Malgré le fait qu'ils bénéficient principalement des services de ces abeilles, les agriculteurs mènent des activités telles que le déboisement et les feux de brousse, qui ont tendance à détruire complètement l'habitat des mélipones. L'intensification de l'apiculture et de la méliponiculture influence l'habitat et la distribution de l'apis et de la mélipone. Ainsi, une compréhension approfondie de la biologie, de l'écologie, de la diversité, de l'habitat et de la distribution des abeilles est cruciale pour garantir une conservation efficace (Fitzpatrick *et al.*, 2007).

Pour développer la méliponiculture, des facilités existent, car les abeilles sans dard se nourrissent d'une grande variété de fleurs et peuvent nidifier dans diverses structures, qu'elles soient naturelles (arbres abattus, talus de terre, rochers) ou artificielles (constructions humaines). Les exigences en matière d'habitat et de nidification varient d'une espèce à une autre, influençant leur distribution au sein des écosystèmes de la savane africaine (Bak-Badowska *et al.*, 2019).

Pour préserver les mélipones et tous les services écosystémiques que celles-ci procurent, il s'avère important de connaître leurs différents habitats ainsi que les caractéristiques de ces habitats à travers divers écosystèmes. Cela permettra de faciliter leur adaptation à différents habitats et de soutenir efficacement la croissance de la méliponiculture. Dans cette perspective, cette étude vise à décrire l'environnement et les caractéristiques physiques des nids de *Meliponula* nichant dans les termitières de *Macrotermes bellicosus* situées dans les écosystèmes du corridor 1 du complexe Po-Nazinga-Sissili (PONASI) au Burkina Faso.

2. Matériel et méthodes

2.1. Description de la zone géographique

Cette étude a été réalisée dans six villages riverains du corridor 1 du complexe PONASI, à savoir Tiakané, Yaro et Bourou dans la commune rurale de Pô, et Oualem, Sarro et Kollo dans la commune rurale de Guiaro. Tous ces villages appartiennent à la province du Nahouri, localisée dans la région Centre-Sud du Burkina Faso. Le corridor 1 fait référence au couloir de passage utilisé par les animaux sauvages, principalement les éléphants, situé entre trois réserves fauniques : le parc national de Pô, également appelé Tambi Kaboré (PNKT), le ranch de gibier de Nazinga (RGN) et la forêt classée de la Sissili (Figure 1). Localisé entre 11°22' et 11°13' de latitude Nord et entre 1°14' et 1°20' de longitude Ouest, le corridor 1 s'étend sur une superficie de 4 503 hectares (IGB, 2023).

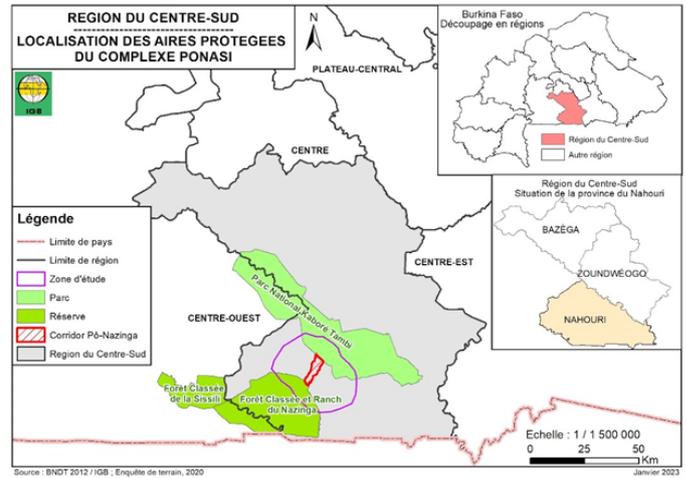


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude

La zone est sous l'influence d'un climat de type sud soudanien dont les pluies sont réparties entre les mois de mai, juin, juillet, août et septembre. La pluviométrie de la zone a atteint 1083,8 mm en 2020. Les températures moyennes annuelles minimale et maximale de 2020 étaient respectivement de 22,28°C et 34,57°C, tandis que la température moyenne globale du pays de la même période était de 28,46°C. Le relief est marqué par des formes assez variées à savoir les plateaux cuirassés, des bas-fonds, des plaines et glacis.

La végétation est caractérisée principalement par les savanes arbustives et boisées. La flore du corridor 1 est relativement riche, constituée principalement d'espèces ligneuses à savoir les *Combretaceae*, les *Caesalpinaceae*, les *Rubiaceae*, les *Mimosaceae*, les *Sapotaceae* et les *Ebenaceae* (Fontès et Guinko, 1995)

Le corridor 1 englobe trois (03) écosystèmes distincts correspondant à trois (03) types d'occupation des sols : les champs, les jachères et les forêts. Ces écosystèmes sont riches en termitières de *Macrotermes* sp qui abritent parfois des mélipones (Photo 1). Les travaux de Kanazoé *et al.* (2023) ont montré que le genre *Meliponula* est celui qui niche en majorité dans les termitières de *Macrotermes* mortes ou vivantes dans les écosystèmes des villages riverains du corridor 1.



Photo 1 : Termitières de *Macrotermes* abritant des nids de mélipones

Les champs sont des zones dédiées à la culture continue du coton et des céréales, souvent parsemées d'arbres et arbustes. Les jachères sont des terrains en repos dont l'âge moyen est de trois (03) ans, constituées des savanes arbustives et herbeuses. Les forêts, dans le corridor 1 du PONASI, sont anthropisées, affichant une configuration de savane arbustive, arborée et herbeuse. Bien que les espèces de plantes mellifères soient très diversifiées dans la zone d'étude, les plus fréquentes sont *Vitellaria paradoxa.*, *Parkia biglobosa*, *Lanea microcarpa*,

Adansonia digitata, *Tamarindus indica*, *Faidherbia albida*, *Vachellia nilotica* et *Balanites aegyptiaca* (Nombré, 2003).

2.2. Méthode d'étude

La présente étude s'est alors focalisée sur la description des nids de *Meliponula* abrités dans les termitières de *Macrotermes* dans les différents écosystèmes. L'hypothèse sous-jacente est que les caractéristiques des nids dans les termitières peuvent varier selon les écosystèmes.

Les termitières susceptibles de contenir des mélipones ont été systématiquement explorées depuis le trou d'envol du nid de mélipone jusqu'au nid proprement dit au sein des termitières.

Huit (08) termitières abritant des nids de mélipones dans chaque écosystème de forêt, de champ et de jachère ont été examinées. Ces termitières de *Macrotermes bellicosus* étaient toutes vivantes contenant des nids de mélipones actifs. Chaque termitière abritant un nid de mélipones a été caractérisée en son aspect physique externe. Le diamètre du trou d'envol et du nid de mélipone ont été mesurés à l'aide d'un pied à coulisse millimétré. La profondeur du nid, de la surface du sol à la paroi externe du nid a été mesurée à l'aide d'un mètre ruban. L'humidité à l'intérieur de la termitière a été mesurée à l'aide d'un humidimètre. La photo 2 présente un nid en cours d'extraction pour les mesures. Après l'extraction, le nid a été pesé, ensuite le miel a été récolté pour être pesé également. Après extraction, le poids du nid, son diamètre et sa teneur en miel, ont été soigneusement mesurés.



Photo 2 : Nid de mélipone en cours d'extraction (encerclé en bleu au centre)

2.3. Analyse statistique

Les données sur les paramètres physico-chimiques des sols ont été analysées à l'aide du logiciel Genstat édition 2010. Une analyse de variance a permis de comparer les caractéristiques de l'habitat de la mélipone selon les différents écosystèmes. Le test de Fisher LSD a permis de séparer les moyennes. Le test de la plus petite différence significative au seuil de probabilité de 5 % a été utilisé pour la comparaison des moyennes. Les graphiques ont été générés grâce au logiciel Minitab édition 18.

3. Résultats

3.1. Diamètre du nid et du trou d'envol des mélipones

Le tableau 1 présente la variation du diamètre du trou d'envol du nid et le diamètre du nid dans trois écosystèmes différents. Il ressort que la variation de l'écosystème a affecté significativement le diamètre du nid contrairement au diamètre du trou d'envol du nid. Les moyennes les plus élevées ($24 \pm 3,74$ cm et $11,2 \pm 0,52$ mm respectivement) pour le diamètre du nid et le diamètre du trou d'envol du nid ont été obtenues dans les champs comparativement aux deux autres écosystèmes (Tableau 1).

Tableau I : Moyenne des diamètres du trou d'envol et du nid de mélipones en fonction des écosystèmes

Écosystème	Diamètre du trou d'envol du nid (mm)	Diamètre du nid (cm)
Champ	$11,2 \pm 0,52$ a	$24 \pm 3,74$ a
Forêt	$9,85 \pm 1,29$ a	$17,04 \pm 2,16$ ab
Jachère	$10,71 \pm 1,44$ a	$17,86 \pm 1,58$ ab
Probabilité	0,7	0,05
Variance	9,08	39,37
Ddl	7	7

Légende : les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes

3.2. Variation de quelques paramètres de la termitière abritant des nids de mélipones selon les écosystèmes

La variation de la profondeur du nid de mélipone, de l'humidité et de la température interne de la termitière est présentée par la figure 2. L'humidité des nids n'a pas significativement variée entre les trois écosystèmes. En effet, l'humidité interne de la termitière abritant le nid de mélipone a été de $58,52 \pm 6,84$ % dans les champs contre $60,86 \pm 1,97\%$ et $61,86 \pm 2,76\%$ dans les forêts et les jachères respectivement. Il ressort que les nids ont été moins profonds ($49 \pm 8,6$ cm) et moins chauds ($28 \pm 1,02^\circ\text{C}$) dans les forêts. Par contre, l'intérieur des termitières a été chaud et plus profond dans les champs ($30 \pm 1,8^\circ\text{C}$ et $62 \pm 9,4$ cm respectivement) et dans les jachères ($29 \pm 1,03^\circ\text{C}$ et 66 ± 10 cm respectivement). L'ensemble des variables utilisées pour caractériser l'habitat des mélipones ont présenté une variabilité plus large dans les champs comparativement aux forêts et aux jachères. L'analyse statistique a montré une différence significative ($p < 0,05$) entre les écosystèmes pour la température de la paroi interne de la termitière et la profondeur du nid de mélipone contrairement à l'humidité interne.

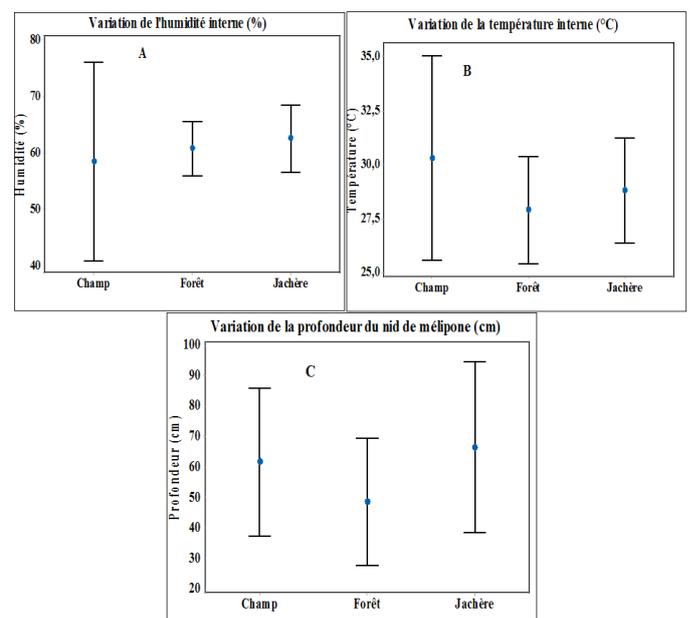


Figure 2: Variation de l'humidité interne (A) et de la température interne du nid (B) et de la profondeur du nid de mélipone (C) dans les champs, les jachères et les forêts

3.3. Variation de la quantité de miel et du poids du nid de mélipones selon les écosystèmes

Les résultats de la variation du poids de miel et du poids du nid de mélipones sont indiqués dans le tableau 2. Ces résultats révèlent que le poids du miel a varié significativement entre les écosystèmes contrairement au poids du nid. La quantité de miel récoltée dans les jachères ($0,19 \pm 0,08$) et les forêts ($0,14 \pm 0,09$ kg) a été plus importante que celle récoltée dans les champs ($0,09 \pm 0,003$). Le poids du nid a été plus élevé dans les champs ($0,56 \pm 0,06$ kg) et les forêts ($0,56 \pm 0,25$ kg) que celui des jachères ($0,43 \pm 0,13$ kg).

Tableau II : Production moyenne de miel et poids du nid de mélipone en fonction des écosystèmes

Ecosystème	Poids du miel (kg)	Poids nid (kg)
Champ	$0,09 \pm 0,003$ b	$0,56 \pm 0,06$
Forêt	$0,14 \pm 0,09$ a	$0,56 \pm 0,25$
Jachère	$0,19 \pm 0,08$ a	$0,43 \pm 0,13$
Probabilité	0,05	0,8
Variance	0.02	0,21
Ddl	7	7

Légende : les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significatives

4. Discussions

Les conditions environnementales et climatiques des écosystèmes du complexe PONASI ont une influence significative sur la vie des *Meliponini*. Dans les champs, les nids de *Meliponula* sont plus profonds, plus larges et ont un trou d'envol plus grand que ceux trouvés dans les forêts et les jachères. Cette observation peut être expliquée par plusieurs facteurs. Tout d'abord, elle pourrait refléter une adaptation de l'espèce à un environnement hostile à son développement. En effet, les champs, en tant que vastes zones de production de maïs et de coton, sont soumis à une utilisation intensive de pesticides et d'engrais chimiques. Les travaux de Zague-Some *et al.* (2023) ont montré que les activités principales autour du corridor telles que la production de coton et de maïs, l'élevage, la carbonisation, la récolte sauvage du miel affectent la survie de la mélipone dans cet environnement. Cette hostilité environnementale est également marquée par des températures élevées à l'intérieur des termitières, un facteur auquel les abeilles sans dards semblent résistantes (Fijn et Baynes-Rock, 2018; Azmi *et al.*, 2019; Hrcir *et al.*, 2019). En effet, selon ces auteurs, les mélipones sont des espèces résistantes aux conditions de chaleur, de périodes sèches avec rupture de floraison et de manque d'eau.

Selon Hrcir *et al.* (2019), les colonies de *Melipona subnitida* sont capables de rétablir leur fonctionnalité même après plusieurs mois de sécheresse, à partir de nids contenant

seulement quelques dizaines d'ouvrières dans les forêts tropicales sèches. L'adaptation des abeilles sans dard à diverses conditions environnementales peut s'expliquer par leur isolement dans de petits refuges écologiques pendant des milliers d'années (Hrcir *et al.*, 2019).

Le faible taux d'humidité observé dans les nids de mélipones dans les champs serait associé à la diminution de la végétation dans cet écosystème par rapport aux forêts et aux jachères. À mesure que la végétation diminue, les rayons solaires atteignent directement le sol, entraînant ainsi une augmentation de la température à l'intérieur des termitières. Cette hausse de température contribue à la diminution de l'humidité à l'intérieur des termitières abritant les nids de mélipones, en comparaison avec d'autres écosystèmes.

Les observations sur le terrain ont révélé que les mélipones ont tendance à structurer leurs nids de manière à réguler sa taille et à faciliter la ventilation. En réponse aux variations d'humidité, les mélipones adaptent le diamètre de l'ouverture de leur nid. Dans des environnements plus humides tel que les forêts ou dans les heures froides de la journée, elles réduisent le diamètre jusqu'à le fermer hermétiquement, pour ensuite le rouvrir progressivement à mesure que la température augmente (Shackleton, 2018)

Une autre stratégie d'adaptation des mélipones aux environnements est la construction de nids plus spacieux, favorisant ainsi des conditions thermiques optimales pour la reproduction et la survie de la colonie. Cette adaptation serait liée à des préférences spécifiques en termes de plage de températures et d'humidités relatives (Kwapong *et al.*, 2010).

Concernant les paramètres environnementaux mesurés dans les écosystèmes forêts et jachères, la faible température de la paroi interne et la faible profondeur des nids indiquent un environnement favorable à l'espèce. La réduction du trou d'envol dans les forêts serait liée au besoin de régulation de la température et de sécurisation du nid au regard de l'abondance des prédateurs dans cet écosystème selon Kajobe et Roubik (2006) et Estienne *et al.* (2017). La réduction de la profondeur des nids associée à des parois internes plus froides dans les forêts pourrait s'expliquer par la présence de végétation. La présence des racines réduit également les possibilités non seulement d'agrandir le nid mais d'aller en profondeur comme dans les champs.

Peu importe l'écosystème, le poids du nid ne varie pas significativement. Cependant, les mélipones produisent plus de miel dans les forêts et les jachères comparativement au champ. Cela se justifierait par l'abondance de la végétation avec une plus grande diversité de plantes mellifères et d'eau dans les forêts et jachères par rapport aux champs. Par ailleurs, les champs dans la zone d'étude sont de vastes domaines de production de coton et de maïs où les facteurs anthropiques tels que les feux de brousse, le défrichage ont entraîné la diminution des plantes mellifères (Zague-Somé *et al.*, 2023).

5. Conclusion

La présente étude a permis de révéler que les mélipones sont des espèces qui s'adaptent aux conditions climatiques et environnementales diverses des écosystèmes champs, forêts et jachères du complexe PONASI au Burkina Faso. La profondeur du nid, le diamètre du trou d'envol, et le diamètre du nid ont été plus importants dans les champs par rapport aux forêts et aux jachères. Cependant, la production de miel a été

plus important dans les forêts et jachères comparativement aux champs. Ces caractéristiques intrinsèques des nids de *Méliponula* dans les termitières de *Macrotermes*, telles que l'humidité, la température, le diamètre du nid et du trou d'envol, doivent être nécessairement prises en compte dans le cadre du développement de la méliponiculture. Par ailleurs, la préservation de l'habitat naturel des *Méliponini*, à savoir les termitières, est essentielle pour leur conservation.

Bibliographie

- Anguilet E. C. F., Alabi T., Nguyen B. K., Ndong Bengone T., Haubruge É., and Francis F. (2018). Stingless Bees (Hymenoptera, Apoidea, Meliponini) from Gabon. In *Pot-Pollen in Stingless Bee Melittology* Springer International Publishing. 179–188. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61839-5_13
- Azmi W. A., Ghazi R. and Nasharuddin, I. S. (2019). Morphological, Nest Architecture and Colony Characteristics of Stingless Bees (Hymenoptera; Apidae; Meliponini) from Tasik Kenyir, Terengganu. In: Abdullah M., Mohammad A., Nor Zalipah M., Safihh Lola M. (eds) Greater Kenyir Landscapes. *Springer*. 111-121, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92264-5>
- Bak-Badowska J., Zeber-Dzikowska I., Gworek B., Kacprzyk W. and Chmielewski J. (2019). The role and significance of stingless bees (Hymenoptera: Apiformes: Meliponini) in the natural environment. *Ochrona Srodowiska i Zasobow Naturalnych*, 30(2), 1–5. <https://doi.org/10.2478/oszn-2019-0005>
- Brosi B. J. (2009). The complex responses of social stingless bees (Apidae: Meliponini) to tropical deforestation. *Forest Ecology and Management*, 258(9), 1830–1837. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.02.025>
- Chakuya J., Gandiwa E., Muboko N. and Muposhi V. K. (2022). A Review of Habitat and Distribution of Common Stingless Bees and Honeybees Species in African Savanna Ecosystems. *Tropical Conservation Science*, 15, 1–12. <https://doi.org/10.1177/19400829221099623>
- Estienne V., Mundry R., Kühl H. S. and Boesch, C. (2017). Exploitation of underground bee nests by three sympatric consumers in Loango National Park, Gabon. *Biotropica*, 49(1), 101–109. <https://doi.org/10.1111/btp.12354>
- Fijn N. and Baynes-Rock M. (2018). A Social Ecology of Stingless Bees. *Human Ecology*, 46(2), 207–216. <https://doi.org/10.1007/s10745-018-9983-0>
- Fitzpatrick Ú., Murray T. E., Paxton R. J. and Brown M. J. F. (2007). Building on IUCN Regional Red Lists to Produce Lists of Species of Conservation Priority: a Model with Irish Bees. *Conservation Biology*, 21(5), 1324–1332. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00782.x>
- Fontès J. and Guinko S. (1995). Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso. Institut de la Carte Internationale de la Végétation. Université Toulouse, France; Institut du Développement Rural, Université de Ouagadougou, Burkina Faso.
- Hrcir M., Maia-Silva C., da Silva Teixeira-Souza V. H. and Imperatriz-Fonseca V. L. (2019). Stingless bees and their adaptations to extreme environments. *Journal of Comparative Physiology A*, 205(3), 415–426. <https://doi.org/10.1007/s00359-019-01327-3>
- Institut Géographique du Burkina, IGB. (2023). *Enquêtes terrain 2023*. <https://www.igb.bf>
- Kajobe R. and Roubik, D. W. (2006). Honey Making Bee Colony Abundance and Predation by Apes and Humans in a Uganda Forest Reserve 1. *Biotropica*, 38(2), 210–218. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2006.00126.x>
- Kanazoé I. W., Nombéré I., Sawadogo S., Boussim J. I. and Vereecken N. J. (2023). Étude exploratoire de la méliponiculture dans les villages riverains du corridor n°1 du Complexe des Aires Protégées Pô-Nazinga-Sissili dans le Centre-Sud du Burkina Faso. In P. Zahonogo, F. Song-Naba and Y. Ouoba (Eds.), *Thomas SANKARA et développement en Afrique*. L'harmattan. 223–238
- Kwapong P., Aidoo K., Combey R. and Karikari A. (2010). Stingless bees: importance, management and utilisation. A training manual for stingless beekeeping. *Unimax Macmillan Ltd*. 84p.
- Mohammad S. M., Mahmud-Ab-Rashid N.-K. and Zawawi N. (2021). Stingless Bee-Collected Pollen (Bee Bread): Chemical and Microbiology Properties and Health Benefits. *Molecules*, 26(4), 1–29. <https://doi.org/10.3390/molecules26040957>
- Ndayikeza L., Nzigidahera B., Mpawenimana A. and Bernadette H. (2014). Abondance et distribution des abeilles du genre *Xylocopa Latreille*, 1802 (Hymenoptera : Apoidea) du Burundi. *Bulletin Scientifique de l'Institut National Pour l'environnement et La Conservation de La Nature*, 11(257), 38–48.
- Ndungu N. N., Kiatoko N., Ciosi M., Salifu D., Nyansera D., Masiga D. and Raina S. K. (2017). Identification of stingless bees (Hymenoptera: Apidae) in Kenya using morphometrics and DNA barcoding. *Journal of Apicultural Research*, 56(4), 341–353. <https://doi.org/10.1080/00218839.2017.1327939>
- Nombéré I. (2003). Etudes des potentialités mellifères de deux zones du Burkina Faso : Garango (province du Boul-gou) et Nazinga (province du Nahouri). Thèse de Doctorat Unique, *Université de Ouagadougou*. 156p
- Shackleton, K. (2018). *Novel aspects of nest defence in stingless bees*. PhD thesis. University of Sussex. 121p <http://sro.sussex.ac.uk/id/eprint/76550>
- Tarakini G., Chemura A., Tarakini T. and Musundire R. (2021). Drivers of diversity and community structure of bees in an agroecological region of Zimbabwe. *Ecology and Evolution*, 11(11), 6415–6426. <https://doi.org/10.1002/ece3.7492>
- Zague-Somé T J., Traoré M. and Belem M. (2023). Impact des activités anthropiques sur les abeilles sociales : perception des populations riveraines du corridor 1 du complexe po nazinga sissili, Burkina faso. *Revue Ivoirienne Des Sciences et Technologie*, 42(42), 300–325.

Effets des fertilisants à base de champignons supérieurs sur la croissance et le développement de la tomate (*Solanum lycopersicum*, L.) en culture semi hors sol dans la ville de Daloa, Côte d'Ivoire

N'GANZOUA Kouamé René^{1*}, GROGA Noel², N'Da Diane Sara-Elisabeth², N'Douba Amako Pauline Francine² ABOBI Akré Hebert Damien¹, BAKAYOKO Sidiky¹

Résumé

Pour optimiser la production de la tomate hybride F1 COBRA 26 à travers une bonne croissance et un bon développement, un essai fertilisant utilisant des champignons supérieurs a été réalisé en culture semi hors sol. La méthodologie a consisté à réaliser un dispositif en trois blocs complets de Fisher comportant chacun quatre micro parcelles dans lesquels sont distribués 10 pots de semis, remplis de substrat (Compost +Terre chauffée) et repiqués de plantules de 22 jours de pépinière. Les fertilisants fongiques, *Psathyrella tuberculata* et *Daldinia concentrica*, ont été appliqués dans les pots à 5 reprises à raison de 10 g/plante aux différents stades de développement de la plante comparés à des pots témoins sans fertilisant. Les paramètres de croissance et de développement (hauteur, diamètre du collet, longueur et largeur des feuilles, nombres de feuilles, ramifications et bouquets floraux) ont été évalués tous les 10 jours. Les données obtenues ont subi une analyse de variance avec le logiciel Statistica 7.1 au seuil de 5%. Les résultats ont montré que pour tous les paramètres de croissance et de développement déterminés, les plantes traitées avec *P. tuberculata* ont enregistré les meilleures valeurs comparées aux plantes traitées avec *D. concentrica* et le témoin pour lesquels les valeurs ont été similaires. En conclusion, le champignon supérieur *P. tuberculata* apparaît comme un bon biofertilisant susceptible d'améliorer la croissance et le développement chez la plante de tomate F1 COBRA 26 par rapport à *D. concentrica*. Il peut être une alternative à l'amélioration de la fertilité des sols agricoles.

Mots clés : Biofertilisants, tomate F1 COBRA 26, croissance et développement, Daloa-Côte d'Ivoire

Abstract

Effects of superior fungus fertilizers on the growth and development of tomato (*Solanum lycopersicum*, L.) in semi-soilless culture in the city of Daloa, Côte d'Ivoire

To optimize production of the F1 COBRA 26 hybrid tomato through good growth and development, a fertilization trial using superior fungi was carried out in semi-soilless culture. The methodology consisted in setting up three complete Fisher blocks, each comprising four microplots, in which 10 seedling pots were distributed, filled with substrate (Compost +Heated earth) and transplanted with 22-day-old seedlings from the nursery. Fungal fertilizers, *Psathyrella tuberculata* and *Daldinia concentrica*, were applied to the pots 5 times at a rate of 10 g/plant at different stages of plant development, compared with control pots without fertilizer. Growth and development parameters (height, crown diameter, leaf length and width, number of leaves, branching and floral clusters) were assessed every 10 days. The data obtained were subjected to an analysis of variance using Statistica 7.1 software at the 5% threshold. The results showed that for all the growth and development parameters determined, plants treated with *P. tuberculata* recorded the best values compared with plants treated with *D. concentrica* and the control, for which the values were similar. In conclusion, the superior fungus *P. tuberculata* appears to be a good biofertilizer likely to improve growth and development in the F1 tomato plant COBRA 26 compared with *D. concentrica*. It could be an alternative for improving agricultural soil fertility.

Keywords: Biofertilizers, tomato F1 COBRA 26, growth and development, Daloa-Côte d'Ivoire

1. Université Jean Lorougnon Guédé, UFR Agroforesterie, Département de Agro-pédologie, Laboratoire d'amélioration de la production agricole, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire.

2. Université Jean Lorougnon Guédé, UFR Agroforesterie, Département

de Biologie, Physiologie et de Génétique, Laboratoire d'amélioration de la production agricole, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

*Auteur correspondant, E-mail: renenganz@yahoo.fr; (+225) 0707522725

1. Introduction

Dans le secteur vivrier, les légumes jouent un rôle prépondérant dans l'alimentation quotidienne des populations. Parmi ces légumes, la tomate (*Solanum lycopersicum* L.) occupe une place de choix (N'Zi *et al.*, 2010). Selon les données de la FAO, la production mondiale de tomates s'élevait en 2020 à 186, 821 millions de tonnes pour une superficie de 5, 052 millions d'hectares, soit un rendement moyen de 37,1 t/ha (Hortimédia, 2022 ; Sangaré *et al.*, 2009). Grâce à sa richesse en vitamines et en sels minéraux, la tomate est le légume fruit le plus consommé dans le monde (Philouze et Laterrot, 1992). En Côte d'Ivoire, elle est l'une des plus importantes cultures maraîchères produites avec une production annuelle qui fluctue entre 22 000 et 35 000 tonnes (Fondio *et al.*, 2013). Les besoins en tomates estimés à plus de 100 000 tonnes ne sont couverts qu'aux deux tiers par la production locale (Groga *et al.*, 2018). Ce faible rendement,

favorisé par un mauvais développement des plantes, est dû à la pression élevée des maladies (nématodes parasites des plantes, des insectes nuisibles) et à la faible fertilité du sol (Adamou *et al.*, 2017). De plus ce faible rendement engendre la question de l'approvisionnement alimentaire des villes (Olanrewaju *et al.*, 2004) vu la démographie galopante. De nombreux sols agricoles sont appauvris en un ou plusieurs nutriments essentiels nécessaires à la croissance et à la productivité des plantes, de sorte que les additions d'engrais sont indispensables pour assurer des rendements maximaux (Baligar *et al.*, 2001). Aussi leur utilisation abusive pollue l'environnement, les nappes phréatiques et provoque la salinisation des sols. La Côte d'Ivoire connaît une croissance démographique importante, causant ainsi la rareté des terres cultivables et exacerbant les contraintes agricoles. Afin de pallier les problèmes de terres cultivables et de limiter les risques économiques,

environnementaux, et sociaux liés à l'utilisation abusive des engrais minéraux, les agriculteurs doivent envisager de nouvelles stratégies de culture en utilisant des fertilisants organiques qui pourront s'avérer moins coûteux et bénéfiques tout en maintenant l'équilibre écologique du sol. Les fertilisants organiques ont pour rôle d'améliorer la structure des sols et de les enrichir en nutriments majeurs pour élever leur productivité (AGRIDAPE, 2015 ; Grogga *et al.*, 2018). L'utilisation de champignons macroscopiques comme fertilisants des sols agricoles est à ce jour très peu connue, notamment, pour les espèces *Psathyrella tuberculata* ((Pat.) A.H.Sm, 1972) et *Daldinia concentrica* ((Bolton) Cesati & de Notaris, 1863). Vue ces aspects, il ressort une question fondamentale qui est celle de savoir comment augmenter la production de la tomate F1 cobra 26 tout en améliorant la fertilité des sols agricoles. Pour ce faire une étude a été menée sur l'évaluation des effets des biofertilisants fongiques (*P. tuberculata* et de *D. concentrica*) en semi hors sol sur la croissance et le développement de *S. lycopersicum*. L'objectif de ce travail est d'évaluer l'effet des espèces fongiques sur la croissance et le développement des plantes de tomate en semi hors sol.

Photo : NGANZOUA René *et al.* 2022

Figure 2 : Tomate FI COBRA 26

2-2. Matériel

2-2-1. Matériel végétal

Les semences de la tomate hybride F1 COBRA 26 ont été utilisées comme matériel végétal (Figure 2). Le choix de cette variété a été guidée par la disponibilité des semences au niveau local, sa tolérance et sa résistance aux maladies, sa bonne production précoce et ses fruits uniformes de forme square (Technisem, 2022). La tomate « COBRA » est très appréciée pour sa fermeté assurant une très bonne tenue post récolte.

2-2-2. Substrat des plants

Le substrat utilisé dans cette expérimentation est un mélange de terre et de compost dans des proportions équitables :

- La terre (300 kg) a été prélevée dans les 20 premiers centimètres du sol de la parcelle expérimentale de l'Université Jean Lorougnon Guédé et conditionnée dans des papiers aluminium puis chauffée à l'étuve à 250°C pour la débarrasser d'éventuels microorganismes. Au bout de 7 jours, la terre est retirée de l'étuve et conservée pour son utilisation.

- Le compost a été produit à partir de la combinaison de déchets organiques d'origine animale et végétale (Fiente de poulet à base de balle de riz, sciure de bois, résidus de levure de bière locale (résidus de tchapalo), charbon de bois, ordure ménagère, feuilles de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A.Gray (Asteraceae) et tonte de gazon). Chaque déchet naturel a été pris à raison de 100 kg par élément et la technique de compostage en tas a été réalisée. Le tas avait 80 cm de haut avec une base de 1m. Après la confection du tas, de la cendre de bois a été ajoutée pour accélérer l'activité biologique des microorganismes et recouverts avec de films plastiques noirs perforés (système de fermentation fermée) pour réguler la chaleur. Toutes les deux semaines, le tas a été retourné pour une oxygénation complète et une fermentation plus homogène puis légèrement arrosé pour éviter un compost trop sec ou trop humide jusqu'à maturité au bout de huit mois. La maturité du compost a été suivie par le relèvement de la température interne du tas de compost au moyen d'un thermocompost numérique de précision de marque REOTEMP, gradué de 0°F (-17,77°C) à 200°F (93,33°C). Le principe de la prise de la température interne du tas consiste à enfoncer le thermocompost à l'intérieur du tas à une profondeur d'environ 35cm et à lire la température affichée sur le cadran de l'appareil. La maturité du compost est

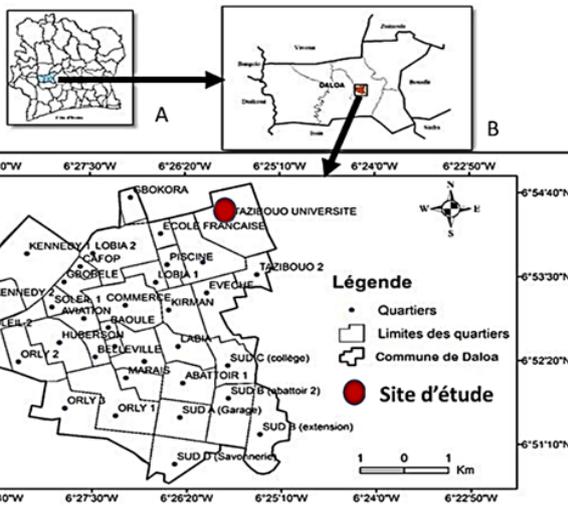


Figure 1 : Carte de la zone d'étude

2. Matériel et méthodes

2-1. Site d'étude

L'étude a été réalisée dans la ville de Daloa en Côte d'Ivoire (Figure 1) dans la région du Haut-Sassandra, précisément à 6°53 de latitude Nord et 6°27 de longitude Ouest. Cette région a une superficie de 15 200 km² (INS, 2014). La parcelle expérimentale est située au sein de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa. Le sol de la région du Haut-Sassandra est issu de l'altération du vieux socle précambrien. La faiblesse de l'érosion du sol justifie la présence continue du couvert végétal et rend le sol très profond en général avec le dépôt actif de l'humus. Il s'agit des sols ferrallitiques d'origine granitique moyennement à faiblement dénaturés (Koffie et Kra, 2013). Le climat est de type tropical humide de transition. Il est caractérisé par une saison sèche allant d'octobre à mars et une saison des pluies ayant deux maxima, l'un en juin et l'autre en septembre. Ce climat pluvieux est un atout pour l'agriculture et surtout pour le développement des cultures pérennes telles que le caféier et le cacaoyer (Ligban *et al.*, 2009).

atteinte lorsque la température redescend en dessous de 40°C jusqu'à sa stabilisation. A la fin du compostage, le compost mûr obtenu a été séché, tamisé afin de débarrasser des impuretés puis conditionné dans un sac en milieu ambiant avant son utilisation.

2-2-3. Fertilisants à base champignons supérieurs

Les biofertilisants fongiques utilisés pendant l'expérimentation étaient constitués de deux champignons supérieurs, *P. tuberculata* et *D. concentrica* (Figure 3). Après échantillonnage de ces champignons dans les forêts de Daloa, les champignons ont été séchés à l'air libre sous les rayons du soleil pendant un jour et broyés en poudre à l'aide d'un broyeur de type Retsch ZM 300 avant leurs applications comme fertilisants. Ces champignons supérieurs ont été choisis pour leur disponibilité localement et pour leur action d'améliorer le potentiel nutritif du sol en mettant à la disposition de la plante des nutriments physiquement assimilables pour sa croissance, son développement et sa production.



Figure 3 : Champignons supérieurs utilisés (A : *Daldima concentrica* ; B : *Psathyrella tuberculata*)

2-3. Méthodes

2-3-1. Mise en place et entretien de la pépinière

La pépinière a été réalisée dans des plaques à alvéoles préalablement remplies de terreau préparé et a consisté à enfouir les grains de semences une à une dans chaque alvéole contenant le terreau. Après le semis, la pépinière a été légèrement humidifiée et déposée sous ombrière pour la protéger des rayons du soleil et accélérer la levée de dormance des graines et la germination. La pépinière a été quotidiennement arrosée pour éviter le flétrissement des plantules et a duré environ 3 semaines avant le repiquage des plantules de tomates.

2-3-2. Dispositif expérimental

Les essais ont été réalisés dans un dispositif en trois blocs complets de Fisher maintenus entre eux par une allée de 1,5 m. Chaque bloc comporte quatre parcelles élémentaires de 5 m × 3 m, espacées les uns des autres de 1 m. Les traitements effectués sont : *Ptu* correspondant à l'apport de *P. tuberculata* ; *Dco* correspondant à l'apport de *D. concentrica* et un témoin sans apport de fertilisant (Tte). Dans chaque parcelle élémentaire, est appliqué un traitement dans 10 pots de semis, remplis de substrat (Compost +Terre chauffée) et placés à équidistants de 0,5 m dans lesquels sont repiquées les plantules âgées de 22 jours (Figure 4). Les biofertilisants fongiques ont été apportés à 5 reprises à raison de 10 g par pot aux différents stades de développement de la plante : le 1^{er} apport a été fait une semaine avant le repiquage; le 2^{ème} apport, une semaine après repiquage des plants ; le 3^{ème} apport pendant la phase végétative; le 4^{ème} apport à la floraison, le 5^{ème} apport à la fructification et enfin le

dernier apport, une semaine après la fructification c'est-à-dire en début de la phase de maturité.

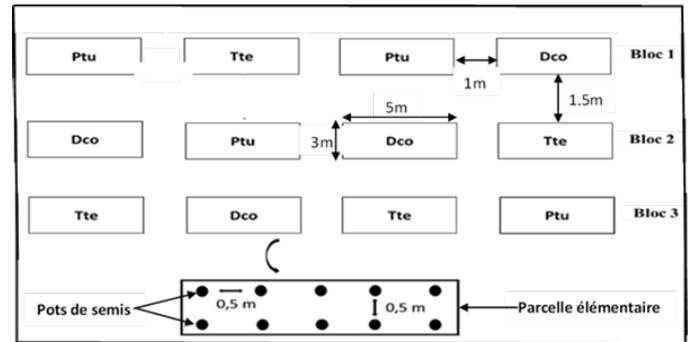


Figure 4 : Dispositif expérimental

2-3-3. Collecte et analyse des données

Pendant le cycle de développement de la tomate, les paramètres de croissance et de développement ont été mesurés tous les 10 jours correspondant aux différents temps de mesure (T1=premier temps de mesure ; T2=deuxième temps de mesure ; T3=troisième temps de mesure ; T4=quatrième temps de mesure ; T5= cinquième temps de mesure ; T6= sixième temps de mesure). Les paramètres mesurés ont concerné:

- le diamètre au collet à l'aide d'un pied à coulisse ;
- la hauteur de la plante à l'aide d'un mètre-ruban sur la tige à partir de la surface du sol jusqu'à l'apex de la plante ;
- la longueur de la feuille à l'aide d'une règle en partant du bout de la foliole terminale au point de fixation du pétiole sur la tige ;
- la largeur de la feuille à l'aide d'une règle du bout de la foliole droite jusqu'à l'extrémité de la foliole gauche de la feuille ;
- le nombre total des feuilles, le nombre de ramification et le nombre de bouquets floraux de la plante par comptage.

Les données collectées ont été saisies et rangées à l'aide du logiciel Microsoft Excel 2013 et soumises à une analyse de variance à un critère de classification (ANOVA 1) qui a été faite à l'aide du logiciel STATISTICA 7.1. Lorsque la différence a été révélée comme significative ($p < 0,05$) pour un caractère, l'analyse de variance a été complétée par le test de la plus petite différence significative (PPDS ou LSD (en anglais) de Fisher au seuil de 5 %.

3. Résultats

3-1. Effet des fertilisants fongiques sur les paramètres de croissance de la tomate

Diamètre au collet

Les traitements d'apport de *Ptu* et de *Dco* ont significativement ($P < 0,05$) affecté le diamètre au collet des plantes de tomates, tout comme le témoin à blanc aux différents temps de mesure, excepté pour les temps de mesure T1 et T4 qui ont eu des valeurs non significatives ($P > 0,05$) selon le Tableau I. Explicitement, le traitement-*Ptu* a eu les diamètres au collet les plus élevés, comparativement au traitement-*Dco* et au témoin-Tte qui ont affiché des valeurs de diamètre au collet similaires et non significatives pour tous les temps de mesures.

Tableau I : Variation du diamètre au collet en fonction des temps de mesures et des traitements

Temps de mesure	Diamètre au collet (cm) par traitement			
	Tte	Ptu	Dco	P value
T1	0,35 ± 0,07a	0,40 ± 0,16a	0,36 ± 0,09a	0,514702
T2	0,40 ± 0,10a	0,57 ± 0,14b	0,42 ± 0,11a	0,000557
T3	0,49 ± 0,14a	0,61 ± 0,17b	0,42 ± 0,12a	0,001239
T4	0,54 ± 0,16a	1,06 ± 1,64a	0,57 ± 0,17a	0,293195
T5	0,61 ± 0,13a	0,78 ± 0,18b	0,63 ± 0,20a	0,026963
T6	0,68 ± 0,18a	0,91 ± 0,18b	0,67 ± 0,20a	0,000705

Les moyennes suivies de la même lettre sur une même ligne sont significativement égales au seuil de 5 % ; T : temps de mesure ; Ptu : *Psathyrella tuberculata* ; Dco : *Daldinia concentrica* ; p-value : probabilité ; Tte : témoin sans fertilisants

Hauteur de la tige

Le tableau II montre la croissance en hauteur des plantes de tomate selon les traitements. On note globalement que la croissance en hauteur des plantes de tomate affectée par les traitements a varié en moyenne de 13,67 ± 4,45 cm (T1-Dco) à 63,40 ± 19,08 cm (T6-Ptu) indiquant que les traitements y compris le témoin ont eu un effet significatif ($P < 0,05$) sur la hauteur des plantes de tomate aux différents temps de croissance, excepté le temps T1, pour lequel aucune valeur significative n'a été notée ($P > 0,05$). Explicitement, le traitement-Ptu a permis une meilleure croissance de la hauteur de la plante de tomate de façon significative par rapport au traitement-Dco et au témoin-Tte pour lesquels les hauteurs des plantes de tomate ont été identiques quelle que soit la période d'observation.

Tableau II : Variation de la hauteur des tiges en fonction des temps de mesures et des traitements

Temps de mesure	Hauteur (cm) par traitement			
	Tte	Ptu	Dco	P value
T1	13,75 ± 3,27a	15,15 ± 4,68a	13,67 ± 4,45a	0,532767
T2	18,37 ± 5,23a	24,22 ± 5,91b	17,54 ± 6,33a	0,002661
T3	22,87 ± 8,39a	34,30 ± 12,42b	20,88 ± 5,37a	0,000127
T4	29,25 ± 16,25a	48,87 ± 20,11b	29,45 ± 9,11a	0,000528
T5	39,33 ± 19,30a	55,32 ± 21,06b	35,87 ± 12,95a	0,003593
T6	43,65 ± 17,18a	63,40 ± 19,08b	42,68 ± 14,94a	0,000856

Les moyennes suivies de la même lettre sur une même ligne sont significativement égales au seuil de 5 % ; T : temps de mesure ; Ptu : *Psathyrella tuberculata* ; Dco : *Daldinia concentrica* ; p-value : probabilité ; Tte : témoin sans fertilisants

Longueur des feuilles

L'apport des différents traitements a significativement ($p < 0,05$) influencé la longueur des feuilles des plantes de tomates sur toutes les périodes d'observation (Tableau III). De façon plus explicite, les plantes de tomate ayant été enrichies avec *P. tuberculata*-Ptu ont significativement augmenté leur croissance en longueur des feuilles par rapport au témoin-Tte et *D. concentrica*-Dco sur toutes les périodes d'observations. Dans l'ensemble, l'allongement moyen des feuilles a oscillé entre 8,35 ± 2,86 cm (T1-Dco) et 24 ± 4,63 cm (T6-Ptu). On observe globalement que l'apport du fertilisant *P. tuberculata* a entraîné une augmentation significativement ($p < 0,05$) de la croissance en longueur des feuilles des plantes de tomates aux différents temps de mesure de T2 à T6 comparativement à T1 pour lequel les traitements n'ont pas eu d'effets significatifs ($p > 0,05$).

Tableau III : Variation de la longueur de feuilles en fonction des temps de mesures et des traitements

Temps de mesure	Longueur des feuilles (cm) par traitement			
	Tte	Ptu	Dco	P value
T1	8,56 ± 2,25a	10,10 ± 4,02a	8,35 ± 2,86a	0,232938
T2	10,22 ± 3,56a	16,01 ± 5,90b	10,75 ± 4,90a	0,003581
T3	12,46 ± 6,34a	23,28 ± 9,12b	13,24 ± 5,29a	0,000089
T4	15,15 ± 7,36a	23,10 ± 11,01b	14,59 ± 6,36a	0,008510
T5	16,81 ± 7,71a	23,37 ± 7,72b	16,22 ± 6,36a	0,007118
T6	17,65 ± 6,42a	24,00 ± 4,63b	17,71 ± 5,41a	0,000833

Les moyennes suivies de la même lettre sur une même ligne sont significativement égales au seuil de 5 % ; T : temps de mesure ; Ptu : *Psathyrella tuberculata* ; Dco : *Daldinia concentrica* ; p-value : probabilité ; Tte : témoin sans fertilisants

Largeur des feuilles

La variation de la largeur des feuilles des plantes de tomate en fonction des temps de mesures et des traitements est présentée dans le tableau IV. La largeur moyenne des feuilles a varié de 5,74 ± 1,84 cm (T1-Dco) à 15,98 ± 3,71 cm (T6-Ptu). Par ailleurs, les plus fortes valeurs de la croissance en largeur des feuilles des plantes de tomate ont été obtenues aux temps de mesure T2 à T6 avec le traitement-Ptu comparativement au traitement-Dco et au témoin-Tte chez lesquels la largeur moyenne des feuilles de la plante de tomate de tous les traitements ne diffère pas statistiquement ($p > 0,05$). Ici comme précédemment pour la croissance en longueur des feuilles de la plante de tomate, on observe globalement que l'apport du fertilisant *P. tuberculata* a entraîné une augmentation significativement ($p < 0,05$) de la croissance en largeur des feuilles des plantes de tomates aux

Tableau IV : Variation de la largeur des feuilles en fonction des temps de mesures et des traitements

Temps de mesure	Largeur des feuilles (cm) par traitement			
	Tte	Ptu	Dco	P value
T1	6,30 ± 1,55ab	7,23 ± 2,83b	5,74 ± 1,84a	0,126492
T2	7,63 ± 2,72a	11,58 ± 4,13b	7,56 ± 3,78a	0,003409
T3	9,07 ± 4,37a	15,58 ± 5,95b	8,88 ± 3,89a	0,000171
T4	9,35 ± 5,04a	14,62 ± 6,96b	9,45 ± 4,17a	0,011249
T5	11,22 ± 4,58ab	15,20 ± 5,45b	10,42 ± 4,02a	0,007863
T6	11,63 ± 3,89a	15,98 ± 3,71b	11,91 ± 4,23a	0,003608

Les moyennes suivies de la même lettre sur une même ligne sont significativement égales au seuil de 5 % ; T : temps de mesure ; Ptu : *Psathyrella tuberculata* ; Dco : *Daldinia concentrica* ; p-value : probabilité ; Tte : témoin sans fertilisants

différents temps de mesure comparativement à T1 pour lequel les traitements n'ont pas eu d'effets significatifs ($p > 0,05$).

Nombre de feuilles

Pour le nombre de feuilles des plantes de tomates, aucun traitement enrichi aux fertilisants fongiques n'a significativement ($p > 0,05$) influencé le nombre de feuille pendant la croissance de la plante de tomate, excepté le temps d'observation T6 (Tableau V). Autrement dit, le nombre des feuilles ne diffère presque pas quel soit le traitement durant la croissance de la plante de tomate sauf, le temps d'observation au stade maturité T6 où les valeurs sont très significatives ($p < 0,0001$). Toutefois, il convient d'indiquer que le nombre de feuilles les plus élevées a été notées avec la plante ayant reçu le traitement *Ptu* sur toutes les périodes de mesures.

Tableau V : Variation du nombre de feuilles en fonction des temps de mesures et des traitements

Temps de mesure	Nombre de feuilles par traitement			
	Tte	Ptu	Dco	P value
T1	4,87 ± 0,83a	5,70 ± 1,75a	5,40 ± 1,81a	0,500054
T2	6,62 ± 1,06a	8,30 ± 1,71b	7,55 ± 2,06ab	0,083831
T3	8,25 ± 1,98a	10,40 ± 3,11a	9,55 ± 2,54a	0,174350
T4	12,62 ± 3,99ab	17,65 ± 8,02b	13,55 ± 4,09a	0,055248
T5	18,75 ± 7,59ab	24,75 ± 11,69b	18,45 ± 5,20a	0,066745
T6	23,50 ± 10,12a	34,95 ± 12,70b	22,50 ± 6,48a	0,000740

Les moyennes suivies de la même lettre sur une même ligne sont significativement égales au seuil de 5 % ; T : temps de mesure ; Ptu : *Psathyrella tuberculata* ; Dco : *Daldinia concentrica* ; p-value : probabilité ; Tte : témoin sans fertilisants

Tableau VII : Variation du nombre de bouquet floraux en fonction des temps de mesures et des traitements

Temps de mesure	Variation du nombre de bouquets floraux par traitement			
	Tte	Ptu	Dco	P value
T1	0,83 ± 1,32b	3,80 ± 2,14a	0,20 ± 0,63a	0,000*
T2	1,50 ± 1,76a	5,50 ± 1,17b	1,10 ± 1,59a	0,000*
T3	1,83 ± 1,60a	7,00 ± 2,26b	1,50 ± 1,08a	0,000*

Les moyennes suivies de la même lettre sur une même ligne sont significativement égales au seuil de 5 % ; T : temps de mesure ; Ptu : *Psathyrella tuberculata* ; Dco : *Daldinia concentrica* ; p-value* : probabilité très significative ; Tte : parcelles sans apport de fertilisants

3-2. Effet des fertilisants fongiques sur les paramètres de développement de la tomate

Nombre de ramifications

Pour ce concerne le nombre de ramification des plantes de la tomate, tous les traitements ont significativement entraîné une plus grande ramification des plantes de la tomate pendant leur croissance (Tableau VI). Autrement dit, on observe une différence hautement significative ($p < 0,00001$) des traitements sur la ramification de la tomate quel que soit la période d'observation et ce, pendant la croissance de la plante de la tomate. Le nombre de ramification a varié de 0,50 (T1-Tte) à 4,80 (T3-Ptu) avec les plus grands nombres de ramifications enregistrés dans les pots fertilisés avec *P. tuberculata*-Ptu et les petits nombres de ramifications, notés dans les pots enrichis avec *D. concentrica*-Dco et les pots témoins-Tte de façon similaire.

Tableau VI : Variation du nombre de ramification en fonction des temps de mesures et des traitements

Temps de mesure	Nombre de ramifications par traitement			
	Tte	Ptu	Dco	P value
T1	0,50 ± 0,83b	3,00 ± 0,47a	0,60 ± 0,69b	0,000*
T2	1,16 ± 0,98a	4,10 ± 0,87b	0,90 ± 0,73a	0,000*
T3	2,16 ± 1,47a	4,80 ± 0,78b	1,70 ± 0,94a	0,000*

Les moyennes suivies de la même lettre sur une même ligne sont significativement égales au seuil de 5 % ; T : temps de mesure ; Ptu : *Psathyrella tuberculata* ; Dco : *Daldinia concentrica* ; p-value* : probabilité très significative ; Tte : parcelles sans apport de fertilisants

Nombre de bouquets floraux

Le nombre de bouquets floraux affecté par les traitements sont présentés dans le tableau VII. On a observé que, les plus grands nombres de bouquets floraux ont été notés sur les pots fertilisés avec *P. tuberculata*-Ptu aux différents temps de mesure (T1=3,80 ; T2=5,50 et T3=7,00) et les petits nombres de bouquets floraux respectivement dans les pots enrichis avec *D. concentrica*-Dco et les pots témoins-Tte. Autrement dit, on observe une différence hautement significative ($p < 0,00001$) des traitements sur le nombre de bouquets floraux de la tomate quel que soit la période d'observation et ce, pendant la phase de fructification à la phase de maturation de la plante de la tomate. Les moyennes ont varié de 0,20 (T1-Dco) à 7,00 (T3-Ptu) avec les plus grands nombres de ramifications enregistrés dans les pots fertilisés avec *P. tuberculata*-Ptu et les petits nombres de ramifications, notés dans les pots enrichis avec *D. concentrica*-Dco et les pots témoins-Tte de façon identique.

4. Discussion

Les effets des fertilisants fongiques *P. tuberculata* et *D. concentrica* comparés au témoin sur la croissance et le développement des plantes de tomate en culture hors sol ont été déterminés. Les résultats issus des analyses statistiques montrent une amélioration dans le temps des différents paramètres considérés. Au niveau des paramètres de croissances, les grandes valeurs ont été enregistrées avec les pots enrichies à *P. tuberculata*. Ces valeurs sont respectivement de 1,06±1,64cm pour le diamètre au collet après 40 jours de planting (Temps d'observation T4) et respectivement de 63,40±19,08cm pour la hauteur des tiges ; de 24,00±4,63cm pour la longueur des feuilles ; de 15,98±3,71cm pour la largeur des feuilles et de 34,95±12,70 pour le nombre de feuilles après 60 jours de planting (Temps d'observation T6). Les faibles valeurs par contre ont été enregistrées dans les pots témoins et dans les pots enrichis avec *D. concentrica*, les valeurs de *Daldinia* étant statistiquement identique à ceux du témoin. En ce qui concerne les paramètres de développement que sont le nombre de ramification et le nombre de bouquets floraux, les résultats indiquent que les fortes valeurs ont été obtenues avec le traitement à *P. tuberculata* (4,80±0,78 pour les ramifications, 7,00±2,26 pour les bouquets floraux) et les valeurs faibles dans les pots n'ayant reçu aucun fertilisants suivis des pots enrichis *D. concentrica*. Les valeurs de *Daldinia* ont été également statistiquement identiques à ceux du témoin. L'amélioration des paramètres de croissances observées avec les plantes ayant reçu Ptu pourrait s'expliquer par le fait que le champignon posséderait dans sa composition des éléments nutritifs qui favorisent la bonne croissance des plantes lorsque celui-ci est libéré dans le milieu. En effet, les travaux de Falandysz et Borovicka (2013) sur les valeurs nutritionnelles et antioxydantes de quelques champignons ont permis de montrer que ceux-ci sont très riches en éléments minéraux. De même, les résultats des travaux de Soro (2014) sur les propriétés biochimiques et nutritives de deux champignons sauvages comestibles ont indiqués que la farine issue de *P. tuberculata* contient une teneur en minéraux élevée soit un pourcentage total de 52,87. Le pourcentage de ces minéraux était de 1, 12 % pour Ca ; 1,87 % pour Mg ; 2,97 % de Fe et 0,065 % de Zn pour 100 g de matière sèche. Kouamé *et al.* (2018) ont également démontré dans leur étude sur la caractérisation physicochimique de trois espèces de champignons sauvages comestibles que l'espèce *P. tuberculata* contient une forte teneur en cendres car celle-ci est fortement riche en éléments minéraux (phosphore, potassium et magnésium, fer, cuivre, zinc, iode, fluor, cobalt, chrome, chlore, soufre et sélénium). Les valeurs croissantes obtenues avec les paramètres de développement se justifie par le fait que les fertilisants organiques libère les minéraux progressivement, ce qui peut assurer leur disponibilité au moment du besoin effectif par la plante (Groga *et al.*, 2018). Les éléments nutritifs rendus suffisamment disponibles au fil du temps dans le sol

sont efficacement utilisés par les plantes cultivées (Ojetayo *et al.*, 2011) dans le temps car, Ptu met à la disposition de la plante les éléments nutritifs progressivement.

Pour donc évaluer le pouvoir fertilisant des espèces fongiques, le substrat utilisé pour la mise en place de la culture a été stérilisé afin d'éliminer tous les agresseurs qui y étaient présent. De ce fait l'action de Dco s'en est retrouvée réduite. En effet, l'action principale de Dco se situe dans la lutte bactérienne comme le montre les travaux de Akre *et al.* (2022) dans l'évaluation de l'activité antibactérienne de deux champignons supérieurs dont *D. concentrica* et *Volvariella volvacea*. En plein terre par contre, Dco permettrait la défense de la culture tout en favorisant la bonne assimilation des éléments nutritifs présents dans le milieu par la plante. Les travaux de Sawadogo (2017) corroborent ces faits. En effet, leurs résultats ont permis de montrer que les espèces du genre *Trichoderma* influencent la croissance des plantes en améliorant la biodisponibilité des nutriments du sol par la solubilisation du phosphate et d'autres éléments nutritifs comme le fer, le cuivre, le manganèse et le zinc (Sawadogo, 2017). L'action fertilisant de Dco se trouvant limité voire inexistante dans le milieu contrôlé justifie l'absence de croissance et de développement des plantes traitées avec celui-ci. La comparaison des effets fertilisants des espèces fongiques (*P. tuberculata* et *D. concentrica*) sur les paramètres de croissances et de développement de la tomate en hors sol a relevé que *Psathyrella tuberculata* a un pouvoir fertilisant supérieur à celui de *D. concentrica* dans un milieu contrôlé.

5. Conclusion

L'étude sur l'amélioration de la production de la tomate en hors sol visait à évaluer les effets des biofertilisants fongiques (*P. tuberculata* et *D. concentrica*) en hors sol sur la croissance et le développement de *Solanum lycopersicum* L. Cette étude s'inscrit dans la dynamique d'une amélioration durable de la productivité de cultures maraîchères par des pratiques respectueuses de l'environnement. Les résultats de l'étude ont montré que *P. tuberculata* favorise une bonne croissance végétative des plants, notamment sur le diamètre au collet, la hauteur des plantes, la longueur des feuilles, la largeur des feuilles et le nombre de feuille comparativement à *D. concentrica* et à la plante témoin. Cet effet a également été observé au niveau des paramètres de développement. En revanche en ce qui concerne *D. concentrica* l'étude a montré que dans certaines conditions ces effets se trouvent limités. En conditions expérimentales, l'utilisation de *P. tuberculata* comme amendements organiques a constitué une source d'éléments nutritifs nécessaires pour la croissance et le développement de la plante de tomate. Cette espèce fongique pourrait être une alternative à l'amélioration de la fertilité des sols agricoles. En perspective, il serait opportun de faire une étude sur le potentiel agronomique pour déterminer plus exactement le pouvoir fertilisant de *D. concentrica* et surtout de faire varier des doses d'utilisation de *P. tuberculata* qui serait optimale.

Conflits d'Intérêts:

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont aucun conflit d'intérêts

Contributions des auteurs

Ce travail a été réalisé en collaboration entre tous les auteurs. Les auteurs N'GANZOUA Kouamé René, GROGA Noel et N'DA Diane S.E ont conçu l'étude, rédigé le protocole expérimental. Les auteurs N'DOUBA A.P.F, ABOBI Akre H.D. et BAKAYOKO Sidiky ont fait les traitements statistiques

et interprété les résultats de l'étude. Tous les auteurs ont lu et approuvé le manuscrit final.

Remerciement

Le laboratoire d'Amélioration de la Production Agricole et l'équipe de recherche en Agro-pédologie de l'Université Jean Lorougnon Guédé tient à remercier toutes les structures partenaires de la recherche dans le champ disciplinaire pour leur collaboration au cours de cette étude. Nous remercions également la gouvernance de l'Université Jean Lorougnon Guédé Daloa pour nous avoir permis de travailler sur la parcelle expérimentale de l'Université.

Références

- Adamou H., Garba M., Mairo M., Adamou B., Oumarou S. and Kimba A. (2017). Geographical distribution of the tomato borer, *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) in Niger. *Scholars Academic Journal of Biosciences* 5: 108-113.
- AGRIDAPE (2015). Agriculture durable à faibles apports externes N°31 volume 1. 35 p.
- Akre D.S.T., N'Douba A.P., Koffi A. E., Attéméné K. A., Koko A. C. et Ackah J. A. A. B. (2022). Evaluation de l'activité antibactérienne de deux champignons supérieurs (*Daldinia concentrica* et *Volvariella volvacea*) sur la croissance des souches de *Escherichia coli* multi-résistantes isolées à Daloa, Côte d'Ivoire. *Revue Africaine et Malgache de Recherches Scientifiques, Série Pharmacopée et médecine traditionnelles africaines*; 21(2) : 116-124.
- Baligar V.C., Fageria N.K. and He Z.L. (2001). *Nutrient use efficiency in plants. Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32: 921–950.
- Cesati & De Notaris (1863). Fiche de *Daldinia concentrica* (Bolton). Inventaire national du patrimoine naturel (INPN). MNHN & OFB [ED]. 2003-2024. Site web :https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/46706 Consulté, le 7 février 2024
- Falandysz J. and Borovicka J. (2013). Nutritional values and antioxidant potential of some edible mushrooms of Kashmir valley. *Applied Microbiology Biotechnology* 97: 477- 501.
- Fondio L, Djidji AH, N'gbesso MFDP, Koné D. (2013). Evaluation de neuf variétés de tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) par rapport au flétrissement bactérien et à la productivité. *International Journal of Biology and Chemistry Sciences*, 7(3): 1078-1086.
- Groga N., Diomande M., Beugre G.A.M., Ouattara Y. et Akaffou D.S. (2018). Etude comparative de la qualité de la symbiose (*Anabaena azollae*, *Azolla caroliniana*), du compost et du NPK sur la croissance végétative et le rendement de la tomate (*Lycopersicon esculentum* mill. *Solanacée*) à Daloa (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 129 : 13004 - 13014.
- INS (Institut National de Statistique) (2014). Recensement général de la population et de l'habitat. Résultats globaux, Abidjan, 22 p.
- Koffie B.C.Y. et Kra K.S. (2013). La région du Haut-Sassandra dans la distribution des produits vivriers agricoles en Côte d'Ivoire. Institut de Géographie Tropical, Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire). *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, 2 : 9 p.

- Kouamé K.B., Koko A.C., Diomandé M., Konaté I. et Assidjo N.E. (2018). Caractérisation physico-chimique de trois espèces de champignons sauvages comestibles couramment rencontrées dans la région du Haut-Sassandra (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 121: 12110-12120.
- Ligban R., Gone L. D., Kamagate B., Saley M. B. et Biemi J. (2009). Processus hydrogéochimique et origine des sources naturelles dans le degré carré de Daloa (Centre Ouest de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3(1) : 38 - 47.
- N'Zi J.C., Kouamé C., Assanvo S.P.N., Fondio L., Djidji A.H. et Sangaré A. (2010). Evolution des populations de *Bemisia tabaci* Genn selon les variétés de tomates (*Solanum lycopersicum* L.) au centre de la Côte d'Ivoire. *Sciences et Nature* 7 (1) : 31- 40.
- Ojetayo A.E., Olaniyi J.O., Akanbi W.B. and Olabiyi T.I., 2011.- Effect of fertilizer types on nutritional quality of two cabbage varieties before and after storage. *Journal of Applied Biosciences* 48:3322– 3330.
- Olanrewaju B. S., Moustier P., Mougeot L. et Abdou F. (2004). Développement durable de l'agriculture urbaine en Afrique francophone. Enjeux, Concepts et méthodes. CIRAD, CRDI, 173 p.
- Philouze, J. et Latterrot, H. (1992). La tomate dans : Amélioration des espèces cultivées. Objectif et critère de sélection. Ouvrage collectifs coordonnés par Galais A, Bannerot H, (Ed). Paris. INRA. Pp 379-391
- Psathyrella tuberculata* (Pat.) A.H. Sm. (1972). *Memoirs of the New York Botanical Garden*. 24: 78 p
- Sangaré A., Koffi E., Akamou F. et Fall C. A. (2009).- État des ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. Ministère de l'agriculture, Abidjan, République de Côte d'Ivoire, Second rapport. 65 p.
- Sawadogo A. (2017). Evaluation de différentes formulations de compost associé ou non aux *Trichoderma* et/ou aux champignons mycorhiziens arbusculaire (CMA) sur les propriétés chimiques et biologiques du sol et le rendement du chou (*Brassica oleracea* L.). Mémoire de fin de cycle en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur, Université N a z i Boni, Burkina Faso, 65 p.
- Soro S. (2014). Etudes des propriétés biochimiques et nutritives de deux champignons sauvages comestibles du centre de la Côte d'Ivoire : *Psathyrella tuberculata* et *Amanita rubescens*. Mémoire de Master, Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan, Côte d'Ivoire, 53p.
- Technisem (2022). Tomate F1 cobra 26. Fiche technique de semence. 1p

Utilisation d'asticots pour la production animale : Composition bromatologique et impact de leur consommation chez le coquelet à Korhogo, Côte d'Ivoire

Ouattara Howélé^{1*}, Ouattara Bazoumana¹, Méité Alassane² et Kati-Coulibaly Séraphin²

Résumé

Les déchets de poisson, les rejets d'abattoir, les déchets de mangue et les lisiers de porcs contribuent à polluer l'environnement et à augmenter les risques de maladies microbiennes et parasitaires à Korhogo. Afin de gérer durablement ces déchets, ils ont été utilisés pour produire des asticots. Cinq cent (500) g de déchets étaient placés dans différentes boîtes et déposées à l'ombre. Cinq jours après, les asticots étaient récoltés et séchés au soleil. Leur composition était déterminée et comparée à celles du tourteau de soja et de la poudre de poisson. Les trois sources protéiques (asticots, tourteau de soja et poudre de poisson) ont été utilisées pour formuler trois régimes isoprotéiques et isoénergétiques destinés à nourrir trois lots homogènes de 25 coquelets pendant 28 jours. Les rendements de production étaient meilleurs avec les substrats Déchets de Poisson (100,31 g/Kg de substrat) et Lisier de Porc (106,25 g/Kg de substrat). Quel que soit le substrat, les profils en acides aminés des asticots étaient quasi-identiques. En alimentation, chez le coquelet, ces asticots n'ont pas entraîné de mort, mais, ont engendré des performances zootechniques comparables à la poudre de poisson et meilleures que le tourteau de soja. Le coût de production a diminué de 58 FCFA/Kg pour le régime tourteau de soja et de 80 FCFA/Kg pour le régime poudre de poisson. La gestion durable des déchets passe par leur utilisation pour produire des asticots ce qui va diminuer le coût de production du poulet et augmenter les revenus des aviculteurs.

Mots clés : déchets, asticots, coquelets, performances zootechniques, Korhogo

Abstract

Use of maggots for animal production: Bromatological composition and impact of their consumption in the cockerel in Korhogo, Côte d'Ivoire

Wastes of fresh fish, slaughterhouse rejects offal, rotten mango, pigs manure contribute to pollute the environment and to increase the risk of malaria, acute respiratory diseases and diarrhea in Korhogo town. 500 g of each of these wastes were put in different boxes and placed in the shade. Five days later, the maggots were harvested and dried in the sun. Their composition was determined and compared to those of soybean meal and fish powder. Each of the three protein sources (maggots, soybean meal and fish powder) were used to formulate three diets differed by the kind of protein used, however, they contained the same amounts of protein and energy. The diets were used to feed three homogeneous batches of 25 cockerels for 28 days. Zootechnical performances were evaluated and economic costs were estimated.

Production yields were better with Fish Waste substrate (100.31 g/Kg of substrate) and Ruminant Content substrate (106.25 g/Kg of substrate). Whatever the substrate, the amino acid profiles of the maggots were almost identical. Used in cockerels alimentation, these maggots did not cause death, but they generated better zootechnical performance than when it is soybean meal which is used and equal zootechnical performance with fish powder.

The production cost was reduced by 58 FCFA/Kg when it is maggots which is used as protein sources compare to the used of soybean meal and by 80 FCFA/Kg compare to the used of fish powder. Sustainable management of these wastes imposed to use them to produce maggots this would reduce the cost of production and increase income.

Keywords: waste, maggots, cockerels, zootechnical performance, Korhogo

¹Unité de Formation et de Recherche (UFR) en Sciences Biologiques. Département de Biologie animale, Université Peleforo GON COULIBALY de Korhogo, Côte d'Ivoire

²Laboratoire de Nutrition et Pharmacologie, UFR Biosciences, Université Félix HOUPHOUËT-BOIGNY de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire

*Auteur correspondant : Ouattara Howélé, Unité de Formation et de Recherche

(UFR) en Sciences Biologiques. Département de Biologie animale, Université Peleforo GON COULIBALY de Korhogo, Côte d'Ivoire.

BP 1328 Korhogo. Tel: 225-0754-4664. E-mail : ouattarahowe@gmail.com

Ouattara Bazoumana, Tél : 225-0758035836. Email : bouattus@gmail.com

Méité Alassane, Tél : 225-0708839850. Email : almeite@yahoo.fr

Kati-Coulibaly Séraphin, Tél : 0787783425. Email : skaticoulibaly@gmail.com

INTRODUCTION

Dans les villes en développement, le secteur des déchets est souvent relégué au second plan par les gouvernants et les usagers. Or, ce service est essentiel car il touche de multiples domaines : économique, sociale, sanitaire et environnemental (Brisoux et Elgorriaga, 2018). La ville de Korhogo au Nord de la Côte d'Ivoire n'échappe pas à ce phénomène. En effet, le marché de vente de poisson, l'abattoir municipal, les lieux de commercialisation de mangues et les élevages de porcs à la périphérie de cette ville génèrent d'importantes quantités de déchets. Ces derniers non collectés peuvent être à l'origine

de la propagation d'agents vecteurs de nombreuses maladies microbiennes et parasitaires (Koné-Bodou *et al.*, 2019).

De plus, on constate, qu'en Afrique en général et en Côte d'Ivoire en particulier, le développement de l'élevage se trouve freiné par les coûts élevés des ingrédients surtout protéiques entrant dans la formulation des aliments pour bétail (Hardouin, 1986 ; Loa, 2000). En effet, la plupart des intrants de nature protéique (tourteau de soja et poudre de poissons) sont importés à des prix exorbitants. A cette situation, s'ajoute la compétition entre l'Homme et l'animal pour les mêmes ressources alimentaires (Mpoame *et al.*, 2004 ; Bouafou *et al.*, 2011). Ainsi, les coûts

de productions des animaux d'élevage deviennent trop élevés empêchant donc le développement du secteur. Or, des déchets organiques non collectés sont abondants à la périphérie et à l'intérieur des grandes villes comme Korhogo.

L'utilisation des déchets organiques pour la production d'asticots semble donc être la meilleure manière de leur gestion durable car ils peuvent être produits en grande quantité à partir d'une large gamme de sous-produits agricoles et de déchets d'origine animale selon leur disponibilité (**Bouafou, 2011**) et sans dépenses majeures (**Mangunga, 2013**).

Des travaux antérieurs ont montré l'efficacité de plusieurs substrats (contenu de la panse des ruminants, de déjections animales, drêches diverses et déchets de restaurants) dans la production d'asticots (**Ekoue et Hadzi, 2000 ; Mpoame et al., 2004 ; Bouafou et al., 2006**) dans des zones de conditions climatiques relativement différentes de celles de Korhogo qui

s'avère être à la fois la plus importante zone de production de mangues et l'une des plus importantes zones d'élevage de bovins et de porcs. Aussi, l'installation de nombreux barrages dans la région a rendu l'activité de pêche importante si bien qu'il existe un marché de vente de poissons. Par conséquent, on constate des rejets (mangues pourries, déchets de poissons, lisier de porc, contenu de bœufs abattus) n'ayant aucune valeur marchande mais qui participent à la pollution de l'environnement et pourraient être utilisés pour la production d'asticots afin de constituer une source protéique pour l'alimentation animale.

De plus, aucune étude de production d'asticots à partir des rejets n'a été effectuée dans cette zone qui présente des conditions climatiques particulières notamment des températures très élevées et une pluviométrie réduite (**Anonyme, 2013**) qui pourraient influencer la quantité et la qualité des asticots produits selon le substrat.

L'objectif de ce travail est de contribuer à une gestion durable des déchets produits sur ces sites et à améliorer la production de volaille par la réduction du coût des intrants protéiques.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Présentation de la zone d'étude

L'étude s'est déroulée à Korhogo la plus grande ville du nord de la Côte d'Ivoire (9°22'41" Nord et 5°38'19" Ouest). Le climat de cette région est de type tropical sec marqué par des températures moyennes élevées et une humidité de l'air parmi les plus faibles du pays (**SODEXAM, 2020**) ce qui est différent des zones où des études ont été déjà réalisées sur la production d'asticots.

Site d'élevage des poulets

Le site d'étude est une ferme avicole située à la périphérie de la ville de Korhogo. Un bâtiment de superficie de 24 m², avec pour longueur 6 m pour largeur 4 m et pour hauteur 3 m, a été utilisé. Ce bâtiment a été divisé à trois loges de dimensions égales. Les côtés du bâtiment sont faits de mur ayant des claustras et ce mur est surmonté de grillage. La toiture est faite de tôles.

MATÉRIEL

Différents substrats utilisés

Quatre types de substrats, récoltés au cours de la période de février à mars 2023, ont été utilisés. Il s'agit de :

- Le lisier de porc a été récolté sur les sites d'élevage des porcs. La collecte du substrat est effectuée la veille de l'essai et stocké dans des sacs afin d'éviter l'ensemencement précoce par les mouches.

- Le contenu ruminal a été récupéré à l'abattoir de Korhogo aussitôt que les bovins étaient abattus et transporté également dans des sacs.

- Les déchets de poisson ont été récoltés au marché de vente de poisson frais issu des pêches dans les barrages de la région de Korhogo. Les organes non consommables par l'Homme rejetés après nettoyage et nous les avons récupérés.

- Les déchets de mangues, en état de pourriture, déversés aux alentours des usines sont récupérés.

Matériel animal

Il était constitué de poussins d'un jour mâles de souche ISA BROWN communément appelés coquelets achetés chez la société IVOGRAIN (Côte d'Ivoire).

Produits de consommation (aliments pour volailles)

Les produits utilisés au cours de l'élevage étaient constitués de :

- L'aliment galdus, pour le démarrage, acquis auprès de la société IVOGRAIN ;

- Différents ingrédients alimentaires ayant servi pour la formulation des régimes expérimentaux : maïs sec concassé, poudre de coquillage, huile de palme, son de maïs, tourteau de soja et poudre de poisson achetés dans le commerce. La poudre d'asticot a été obtenue à partir des asticots produits sur les différents déchets qui ont servis de substrats.

Les ingrédients protéiques que sont le tourteau de soja, la poudre de poisson et la poudre d'asticots ont été employés différemment comme bases de protéines pour les trois régimes qui ont été formulés.

MÉTHODES

Production des asticots et obtention de la poudre d'asticots

Les asticots ont été produits selon la méthode décrite par **Bouafou et al. (2006)** à l'air libre sous des arbres ombragés ou les diptères de la zone venaient se poser et pondre les œufs. Ainsi, des bocal (16) constituant les récipients de production ont été répartis en quatre lots correspondant au nombre de substrats à utiliser que sont soit le lisier de porc (LP), soit le contenu ruminal de bœuf (CR), soit le déchet de poisson (DP) ou soit encore le déchet de mangue (DM). Dans chaque bocal était introduit une même quantité de 500 g de substrat selon le lot de production (LP, CR, DP et DM).

Les bocal contenant les substrats ont été ensuite exposés aux environ de 8 heures du matin à la ponte des mouches à l'air libre dans un endroit ombragé et à l'abri des intempéries. Après 24

heures d'exposition, les différents substrats ont été couverts de sac en forme de bâche afin d'obtenir des asticots de taille homogène. L'extraction des asticots a été faite le 5^{ème} jour pour éviter que ceux-ci se transforment en pupe a consisté à verser tout le mélange de larves et de substrat dans une passoire en plastique reposant sur un récipient en plastique. Les larves migrent à travers les mailles de la passoire et tombent dans le récipient en plastique. Les asticots ainsi extraits ont été rincés puis transférés dans de l'eau bouillante pendant cinq minutes. Ils ont été recueillis par la suite et égouttés pour être séchés au soleil pendant 72 heures. Cette expérimentation a été répétée deux fois. Le rendement de production sur chaque substrat a été calculé avant que les asticots ne soient réduits en poudre (Ouedraogo *et al.*, 2015).

Analyse des poudres d'asticots

Les paramètres physicochimiques des différentes poudres d'asticots ont été déterminés différemment grâce aux méthodes BIPEA (1976) et AOAC (1990). Les teneurs en acides aminés et en acides gras ont été déterminées grâce à la méthode de chromatographie en phase gazeuse.

Production en masse des asticots

Afin de disposer d'une grande quantité d'asticots pour l'alimentation des coquelets d'expérimentation, une production importante de ceux-ci a été réalisée. A cet effet, la méthodologie déjà décrite a été adoptée tout en augmentant les substrats afin d'obtenir une quantité suffisante d'asticots. Ainsi, environ 200 kilogrammes d'asticots ont été produits sur les différents types de substrat en utilisant d'énormes quantités de déchets puis mélangés (la qualité des asticots produits n'étaient pas différents d'un substrat à l'autre d'après l'analyse déjà effectuée).

Détermination des principaux paramètres physicochimiques des ingrédients protéiques

Des échantillons de poudres d'asticots produits en masse ainsi que la poudre de poisson et de tourteau de soja ont été prélevés et analysés au laboratoire. L'analyse des ingrédients a porté sur la détermination de la teneur en eau, en matière sèche (MS), en matière grasse (MG), en cendres brutes (CB) et en protéines brutes (PB). Elle est effectuée grâce aux méthodes BIPEA (1976) et AOAC (1990).

Formulation des régimes d'expérimentation

A partir des résultats de l'analyse physicochimique des ingrédients protéiques qui a donné respectivement comme valeur protéique $46,32 \pm 0,03$ % pour la poudre de poisson, $47,12 \pm 0,06$ % pour la poudre d'asticots globales et $74,21$ % pour les tourteaux de soja rapportée par la société IVOGRAIN, trois (3) régimes iso-protéiques et iso-énergétiques de type croissance ont été formulés. Il s'agit du régime soja (Rs), du régime poisson (Rp) et du régime asticots (Ras) dans lesquelles le tourteau de soja, la poudre de poisson et la poudre d'asticots ont été respectivement utilisés comme sources protéiques.

La préparation consistait à mélanger manuellement les quantités des différentes matières premières choisies d'abord les ingrédients à faible proportion pour obtenir un pré mélange auquel on ajoutait par la suite les ingrédients qui sont en proportion relativement importante de façon à avoir un mélange d'aliments bien homogène. Le **tableau I** donne la composition des différentes matières premières utilisées pour la formulation d'un kilogramme de chaque régime. La **figure 1** montre les différents régimes formulés.

Tableau I : Quantité des matières premières pour la formulation d'un kilogramme des différents régimes isoprotéiques et isoénergétiques

Matières premières (en g)	Régime soja (Rs)	Régime poisson (Rp)	Régime asticots (Ras)
Maïs jaune	596,14	534,44	546,83
Poudre de poisson	0	388,6	0
Tourteau de soja	257,14	0	0
Poudre d'asticots	0	0	382
Son de maïs	99,22	4,96	4,17
Huile de palme	35	60	55
Coquillage	12	12	12



Figure 1 : Différents régimes utilisés lors de l'expérimentation

- A** : Régime à source protéique le tourteau de soja
B : Régime à source protéique la poudre de poisson
C : Régime à source protéique la poudre d'asticots

Préparation du bâtiment et du matériel d'élevage

Une semaine avant l'installation des poussins, le bâtiment d'élevage et les équipements ont été nettoyés désinfectés à l'eau de javel. Trois jours avant la mise en place des sujets, une deuxième désinfection du bâtiment par un virucide a été faite par pulvérisation. A la veille de l'arrivée des poussins, une couche de litière a été déposée au sol, les abreuvoirs et les mangeoires ont été installés et les systèmes d'éclairage et de chauffage ont été mis en place.

Réception des poussins

A l'arrivée, les poussins ont été installés dans une poussinière où ils ont été élevés dans une même loge durant quatre semaines. Tous les poussins ont été soumis pendant tout leur cycle de vie au programme de prophylaxie en vigueur.

Transfert et mise en lots des poussins

Au 30^{ème} jour d'élevage, les poussins ont été pesés individuellement. Un total de 75 poussins mis à notre disposition ont été répartis

en trois lots de 25 sujets chacun, ce qui a constitué les lots d'expérimentation. La densité d'élevage par lot était de 5 sujets/m².

Programme d'alimentation et d'abreuvement

Au début de l'expérimentation, les poussins étaient nourris pendant les 29 premiers jours avec l'aliment démarrage produit et commercialisé par la société « Ivograin » (Côte d'Ivoire). Du 30^{ème} au 60^{ème} jour, les animaux ont été nourris aux aliments expérimentaux précédemment formulés. Chaque lot de poulets a été soumis à un seul type de régime alimentaire durant toute la période d'essai. L'eau de boisson était servie à volonté.

Observations pendant l'expérimentation

Des observations visuelles étaient effectuées durant toute la durée de l'expérimentation. Elles portaient sur la mobilité des oiseaux, l'aspect des fientes et la détermination du nombre de morts.

Méthodes d'évaluation des paramètres zootechniques et de consommation de nourriture

Les paramètres évalués au cours de cette étude concernent la croissance pondérale des coquelets, le gain moyen quotidien (GMQ) et l'indice de consommation alimentaire (IC). Les pesées individuelles des coquelets étaient hebdomadaires. Les quantités d'aliments consommées et celles restantes étaient pesées quotidiennement. La quantité d'aliment consommé était déterminée en faisant la différence entre la quantité d'aliment consommée et celle qui reste. Le calcul des paramètres zootechniques était effectué selon les formules relatives par **Villemin (1984)**.

□ Consommation alimentaire

Elle est obtenue par la formule :

$$CA = \frac{\text{Quantité d'aliment distribuée (g)} - \text{Quantité d'aliment refusée (g)}}{\text{Nombre de sujets}}$$

□ Poids vifs moyen

Le poids vif moyen est le rapport de la somme des poids des individus d'un même lot par leur effectif.

$$\text{Poids vifs moyen} = \frac{\text{Somme des poids des individus d'un même lot}}{\text{Effectif du lot}}$$

□ Gain moyen quotidien (GMQ)

Le gain moyen quotidien est le rapport entre le gain de poids pendant une période sur la durée correspondante. Il a été calculé suivant la formule :

$$GMQ = \frac{\text{gain de poids pendant une période (g)}}{\text{Durée pendant cette période}}$$

□ Indice de consommation (IC)

C'est le rapport entre la quantité d'aliment consommé sur une période donnée et le gain de poids correspondant à cette période.

$$IC = \frac{\text{Quantité d'aliment consommé pendant une période donnée (g)}}{\text{gain de poids pendant cette période (g)}}$$

□ Taux de Mortalité (TM)

Le taux de mortalité (%) correspond au rapport du nombre total de mort sur l'effectif initial des sujets exposés.

$$TM (\%) = \frac{\text{Nombre de mort}}{\text{Effectif initial}} \times 100$$

Évaluation économique

Le coût de production d'un kilogramme d'aliment a été obtenu en faisant la somme des coûts estimés de la quantité de chaque ingrédient utilisé pour formuler un kilogramme d'aliment.

Analyses statistiques

Pour comparer les moyennes, une analyse de variance à un facteur a été faite en utilisant le logiciel Statistica version 7.1. Les analyses des données qualitatives et la comparaison des proportions ont été effectuées grâce au logiciel R. Les courbes ont été tracées à l'aide du logiciel Graph Pad Prism. Le seuil de significativité a été fixé à 5 %.

RÉSULTATS

Rendement de production des asticots

Pour la première répétition, le rendement était nul pour le substrat M. Il était de 90 g/ Kg de substrat pour le substrat DP, de 11,85 g/ Kg de substrat pour le substrat CR et de 55,60 g/ Kg de substrat pour le substrat LP. Le rendement obtenu sur le substrat DP était significativement élevé ($p \leq 0,05$) que celui obtenu sur le substrat LP qui lui-même était significativement élevé ($p \leq 0,05$) que celui obtenu sur le substrat CR.

Pour la deuxième répétition, le rendement était de 1,25 g/ Kg de substrat pour le substrat M. Celui obtenu sur le substrat DP était de 100,31 g/ Kg de substrat et celui du substrat CR était de 22,38 g/ Kg de substrat. Enfin, le rendement obtenu sur le substrat LP était de 106,25 g/ Kg de substrat. Il n'y avait pas de différence significative ($p \geq 0,05$) entre le rendement du substrat DP et celui du substrat LP. Par contre, les rendements des substrats LP et DP étaient significativement élevés ($p \leq 0,05$) que ceux obtenus sur les substrats M et CR. Quant à celui du substrat CR, il était significativement plus élevé ($p \leq 0,05$) que celui obtenu sur le substrat M. L'ensemble de ces résultats sont présentés à la figure 2.

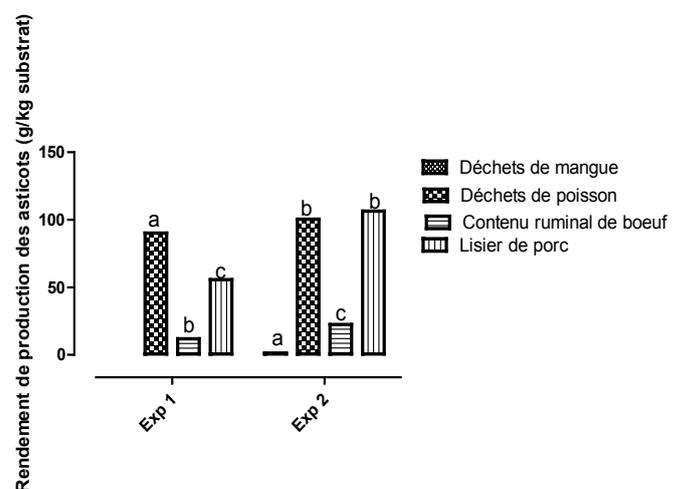


Figure 2 : Rendement de production des asticots en fonction du substrat. Les histogrammes affectés de lettres différentes sont significativement différents par contre ceux affectés des mêmes lettres ne sont pas significativement différents au seuil de significativité de 0,05.

Teneur en Matière Sèche (MS)

Les résultats concernant le taux de MS sont représentés à la Figure 3.

Pour la première répétition, il n'y avait pas d'asticots récoltés sur le substrat M ce qui fait que le taux de matière sèche n'a pas pu être estimé. Pour une masse de 180 g d'asticots frais récoltés sur le substrat DP, il a été obtenu 31,41 g de MS ce qui correspond à une teneur en matière sèche de 17,45 g MS/100 g d'asticots frais. Avec le substrat CR, la masse d'asticots frais récoltée qui était de 23,7 g a permis d'obtenir 55,46 g de MS ce qui correspond à 57,46 g MS/100 g d'asticots frais. Dans le cas du substrat LP, 27 g de MS soit 24,28 g MS/100 g d'asticots frais ont été obtenus à partir de 111,2 g d'asticots frais.

La teneur en MS des asticots du substrat CR était significativement élevée ($p \leq 0,05$) que ceux des asticots obtenus sur les substrats LP et DP. Quant aux teneurs en MS des asticots récoltés sur les substrats DP et LP, elles n'étaient pas significativement différentes ($p \geq 0,05$).

Dans le cas de la deuxième répétition, sur le substrat DM, il a été obtenu 2 g d'asticots frais et la quantité de MS contenue dans ces asticots était 0,14 g ce qui correspond à 7 g MS/100 g d'asticots frais. Pour une masse de 160,5 g d'asticots frais récoltés sur le substrat DP, 35,8 g de MS ont été obtenus soit 18,61 g MS/100 g d'asticots frais. Pour le substrat CR, la masse d'asticots frais était de 23,7 g et la matière sèche qui en n'a résulté était de 55,46 g de MS ce qui correspond à 57,46 g MS/100 g d'asticots frais. Quant au substrat LP, il a permis d'obtenir 170 g d'asticots frais et la MS résultant était de 46,6 g soit 74,35 g de MS/100 g d'asticots frais. La teneur en MS des asticots du substrat CR était significativement élevée ($p \leq 0,05$) que ceux des asticots obtenus sur les substrats LP, DP et DM. Celle des asticots du substrat LP était significativement élevée ($p \leq 0,05$) que ceux des substrats DP et DM. Quant aux teneurs en MS des asticots des substrats DP et M, elles n'étaient pas significativement différentes ($p \geq 0,05$).

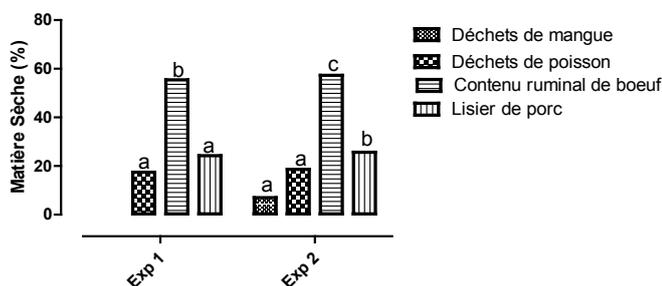


Figure 3 : Taux de matière sèche dans les asticots en fonction du type de substrat

Les histogrammes affectés de lettres différentes sont significativement différents par contre ceux affectés des mêmes lettres ne sont pas significativement différents au seuil de significativité de 0,05.

Taux d'humidité

Les résultats de la teneur en eau des asticots sont représentés à la figure 4.

Pour la première répétition, il n'y avait pas eu de production

d'asticots sur le substrat M. La teneur en humidité des asticots récoltés sur le substrat DP était de 82,55 %. La teneur en humidité des asticots récoltés sur le substrat CR était de 42,53 % et celle des asticots récoltés sur le substrat LP était de 75,72 %. Les taux d'humidité des asticots récoltés sur les substrats DP et LP étaient significativement élevés ($p \leq 0,05$) que celui des asticots récoltés sur le substrat CR. Quant aux taux d'humidité des asticots récoltés sur les substrats DP et LP, ils n'étaient pas significativement différents ($p \geq 0,05$).

Pour la deuxième répétition, le taux d'humidité était de 93 % pour les asticots récoltés sur le substrat DM. Ce taux était de 81,31 % pour les asticots récoltés sur le substrat DP, de 42,74 % pour les asticots récoltés sur le substrat CR et de 74,35 % pour les asticots récoltés sur le substrat LP. Les taux d'humidité des asticots récoltés sur les substrats DM, DP et LP n'étaient pas significativement différents ($p \geq 0,05$) entre eux. Ces taux d'humidité étaient significativement élevés ($p \leq 0,05$) que le taux d'humidité des asticots récoltés sur le substrat CR.

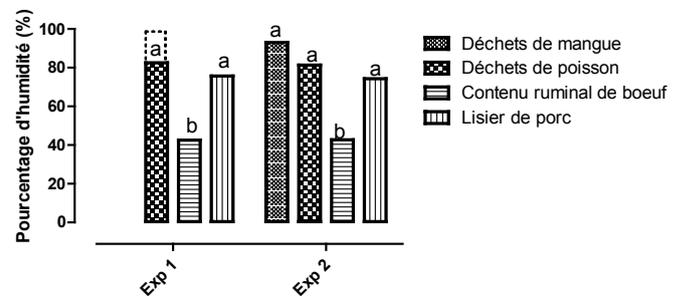


Figure 4 : Taux d'humidité dans les asticots en fonction du type de substrat

Les histogrammes affectés de lettres différentes sont significativement différents par contre ceux affectés des mêmes lettres ne sont pas significativement différents au seuil de significativité de 0,05.

Quantification de quelques acides aminés et vitamines contenus dans les asticots produits selon le substrat

La composition en acides aminés des asticots selon le type de substrat a été déterminée en g/100 g de MS. Selon les étalons à notre disposition, les acides aminés qui ont été détectés sont l'acide glutamique, l'arginine, la proline, la cystéine et la valine. L'analyse par Chromatographie en Phase Gazeuse (CPG) indique que les asticots obtenus à partir des différents substrats contiennent la vitamine A et des vitamines du groupe B que sont la vitamine B1, la vitamine B2 et la vitamine B12 (Tableau II). Il ressort des analyses que la quantité d'acide glutamique contenue dans la poudre des asticots récoltés sur le substrat LP est supérieure à celle contenue dans la poudre des asticots récoltés sur le substrat CR alors que celle-ci en contient plus que les asticots récoltés sur le substrat DP. La quantité d'arginine contenue dans la poudre des asticots récoltés sur le substrat LP est élevée que la quantité d'arginine dans la poudre des asticots récoltés sur le substrat DP mais cette quantité d'arginine dans la poudre des asticots récoltés sur le substrat DP est plus élevée que la quantité d'arginine contenue dans la poudre d'asticots récoltée sur le substrat CR. Les asticots récoltés sur le substrat DP contiennent une grande quantité de

proline que les asticots récoltés sur le substrat CR. Ces asticots récoltés sur le substrat DP sont plus riches en proline que les asticots récoltés sur le substrat LP. La cystéine est à un taux plus élevé dans la poudre des asticots récoltés sur le substrat LP par rapport à la quantité contenue dans la poudre des asticots récoltés sur le substrat DP et la poudre des asticots récoltés sur le substrat DP possède une plus grande quantité de cystéine que la poudre des asticots récoltés sur le substrat CR. La poudre des asticots issus du substrat LP a une quantité de valine supérieure à celle des asticots récoltés sur le substrat DP. Les asticots du substrat CR moulus ne contiennent pas de valine. La quantité de vitamine A contenue dans la poudre des asticots récoltés sur le substrat DP est supérieure à la quantité contenue dans la poudre des asticots récoltés sur le substrat LP alors que cette quantité de vitamine A contenue dans les asticots récoltés sur le substrat LP est supérieure à celle contenue dans les asticots récoltés sur le substrat CR. La quantité de vitamine B1 contenue dans la poudre des asticots récoltés sur le substrat DP est encore supérieure à la quantité contenue dans les asticots récoltés sur le substrat CR qui est à son tour supérieure à la quantité contenue dans les asticots récoltés sur le substrat LP. En ce qui concerne la quantité de vitamine B2, elle est plus élevée dans les asticots moulus récoltés sur le substrat LP que ceux récoltés sur le substrat DP lesquels asticots sont plus riches en vitamine B2 que les asticots récoltés sur le substrat CR. Enfin, la quantité de vitamine B12 est plus élevée pour les asticots du substrat LP que ceux du substrat CR. Les asticots du substrat CR contiennent plus de vitamine B12 que les asticots du substrat DP. La composition chimique des asticots du substrat M n'a pas pu être déterminée. Le tableau II donne la proportion d'acides aminés et de vitamines dosés.

Tableau II : Quelques acides aminés et vitamines contenus dans les asticots récoltés sur les différents substrats.

	Composés chimiques	DP	CR	LP
		Acide glutamique	3,4491	4,8644
Acides aminés (g/100g MS)	Arginine	6,6323	2,9433	7,7269
	Proline	4,1097	2,8149	2,5985
	Cystéine	2,8308	0,2895	4,3819
	Valine	4,5984		5,4475
	Vitamine A	1,4787	0,3003	0,6348
Vitamines (g/100g MS)	Vitamine B1	1,7753	0,7363	1,5000
	Vitamine B2	1,0044	0,3819	1,5286
	Vitamine B12	0,0226	0,0271	0,4488

Composition chimique des ingrédients à forte valeur protéique

Les résultats obtenus après analyse des différents ingrédients de nature protéique sont consignés dans le Tableau III. Il

ressort de ces derniers, que le tourteau de soja est plus riche en protéines brutes que la poudre de poisson et la poudre d'asticots alors que la poudre de poissons et celle d'asticots ont quasiment les mêmes teneurs en protéines brutes. Les teneurs en protéines sont de 74,21 %, 46,32±0,03 % et 47,12±0,06 % respectivement pour le tourteau de soja, la poudre de poisson et la poudre d'asticots. La poudre de poisson et la poudre d'asticots sont particulièrement plus riches en matières grasses et en cendres que le tourteau de soja.

Tableau III : Composition chimique des ingrédients à forte valeur protéique

Nutriments	Tourteau de soja	Poudre de poisson	Poudre d'asticots
Humidité (%H)	11,91	07,87±0,11	11,06±0,61
Matière sèche (%MS)	88,09	92,13±0,11	88,93±0,61
Matière grasse (%MG)	02,24	10,33±0,11	27,53±0,7
Protéines brutes (%PB)	74,21	46,32±0,03	47,12±0,06
Cendres (%C)	06,36	25,95±2,85	09,53±0,11
Glucides (%)	05,28	09,53	04,76

Évaluation de l'état sanitaire des coquelets

Les coquelets nourris avec les différents régimes alimentaires constitués avaient un aspect globalement normal durant toute la durée de l'expérimentation. Aucune mortalité n'a été relevée pendant l'expérimentation quel que soit le régime consommé. Cependant, quelques cas de diarrhées ont été constatées de façon générale à la 6^{ème} semaine de l'expérimentation (Tableau IV).

Tableau IV : État sanitaire des coquelets

Observation		Régimes alimentaires		
		Rs	Rp	Ras
Mortalité	6 ^{ème} semaine	0	0	0
	8 ^{ème} semaine	0	0	0
Diarrhée	6 ^{ème} semaine	- +	- +	- +
	8 ^{ème} semaine	-	-	-
Pelage	6 ^{ème} semaine	Normal	Normal	Normal
	8 ^{ème} semaine	Normal	Normal	Normal

0 : pas de mortalité ; -+ : légère diarrhée ; - : pas de diarrhée
 0 : no mortality ; -+ : mild diarrhea ; - : no diarrhea

Évaluation des performances pondérales des coquelets

Les résultats concernant le poids vif des sujets nourris à base des différents aliments sont consignés dans le Tableau V. Au début de l'expérimentation (4^{ème} semaine), il n'y avait pas de différence significative (p ≥ 0,05) entre les poids vifs moyens des poussins par lot. Par contre, une différence significative (p ≤ 0,05) a été notée dans le cas de la consommation du régime soja (Rs) de la 6^{ème} à la 8^{ème} semaine par rapport à la consommation des autres régimes. Cependant, aucune différence significative (p ≥ 0,05) de poids n'a été observée chez les animaux consommant les régimes Rp et Ras.

Les GMQ obtenus dans les différents régimes alimentaires sont consignés dans le Tableau VI. Durant la première semaine de l'essai (4^{ème} semaine), il n'y avait pas de différence significative ($p \geq 0,05$) de gains moyens quotidiens quel que soit le lot de coquelet. De la quatrième à la huitième semaine d'expérimentation, le GMQ a varié significativement ($p \leq 0,05$) entre les différents lots en fonction du régime alimentaire et les valeurs les plus élevées ont été enregistrées chez les coquelets ayant reçu le régime Rp et Ras à la 6^{ème} et 8^{ème} semaine.

Tableau V : Poids vifs (g) des oiseaux selon les régimes alimentaires

Poids vif (g)	Régimes alimentaires expérimentales		
	Rs	Rp	Ras
4 ^{ème} semaine	339,6±34,6 ^a	353,2±48,5 ^a	335±18,7 ^a
6 ^{ème} semaine	427,8±50,1 ^a	530±38,6 ^b	494,2±41,9 ^b
8 ^{ème} semaine	539,8±82,6 ^a	794±47,9 ^b	770,4±76,1 ^b

a et b : les valeurs portant différentes lettres sur la même ligne sont significativement différentes au seuil de 5 %

Tableau VI : Variation du GMQ en fonction des régimes alimentaires

GMQ (g/j)	Régimes alimentaires expérimentales		
	Rs	Rp	Ras
4 ^{ème} semaine	9,82±1,15 ^a	10,02±0,95 ^a	9,67±0,62 ^a
6 ^{ème} semaine	9,51±1,11 ^a	13,17±0,73 ^b	11,37±1,66 ^c
8 ^{ème} semaine	4,86±2,32 ^a	18,86±0,66 ^b	19,73±2,46 ^b

a, b, c : les valeurs portant différentes lettres sur la même ligne sont significativement différentes au seuil de 5 %

Évaluation de la consommation alimentaire et de l'indice de consommation

Les résultats de la consommation alimentaire des coquelets sont présentés dans le Tableau VII tandis que les indices de consommation sont présentés dans le tableau VIII. Les coquelets ayant consommé le régime soja (Rs) ont enregistré les valeurs de consommation alimentaire les plus élevées pendant la première semaine d'expérimentation. Cependant, les coquelets ayant consommé soit le régime poisson (Rp) soit le régime asticot (Ras) ont présenté les valeurs les plus élevées durant tout le reste de la période d'expérimentation. Ces variations ont été significatives à la 5^{ème} et 6^{ème} semaine d'expérimentation ($p \leq 0,05$). En ce qui concerne l'indice de consommation, les coquelets ayant consommé le régime asticot ont enregistré les plus faibles indices de consommation lors de l'expérimentation ($p \leq 0,05$). Les coquelets ayant consommé le régime soja ont enregistré les valeurs d'indice de consommation les plus élevées.

Tableau VII : Consommation alimentaire moyenne par individu

Consommation alimentaire (g/j/sujet)	Régimes alimentaires expérimentales		
	Rs	Rp	Ras
4 ^{ème} semaine	33,2 ^a	16,16 ^b	25,8 ^c
6 ^{ème} semaine	15,8 ^a	33,8 ^b	21,2 ^c
8 ^{ème} semaine	23 ^a	35,8 ^b	27,6 ^c

a, b, c : les valeurs portant différentes lettres sur la même ligne sont significativement différentes au seuil de 5%.

Tableau VIII : Évolution de l'indice de consommation

Consommation alimentaire (g/j)	Régimes alimentaires expérimentales		
	Rs	Rp	Ras
6 ^{ème} semaine	2,5 ^a	2,6 ^a	1,6 ^b
8 ^{ème} semaine	2,85 ^a	1,9 ^b	1,4 ^b

a et b : les valeurs portant différentes lettres sur la même ligne sont significativement différentes au seuil de 5%

Évaluation de la marge économique

Les résultats économiques obtenus par régime alimentaire sont présentés dans le Tableau IX. Il a été constaté que le prix du kilogramme d'aliment contenant la poudre d'asticots était moins chère (202 FCFA/Kg) que celui du régime soja (260 FCFA/Kg) qui était lui-même moins chère que celui du régime poisson (291 FCFA/Kg). Le coût de production dans le cas du régime à source protéique à base de poudre d'asticots était diminué de ;

- 58 FCFA/Kg par rapport au régime contenant du tourteau de soja ;
- 89 FCFA/Kg par rapport au régime contenant de la poudre de poisson.

Tableau IX : Coûts des matières premières et des régimes alimentaires expérimentaux

Ingrédients	PU (FCFA/Kg)	Coût de chaque ingrédient (FCFA/Kg d'aliment Formulé)		
		Rs	Rp	Ras
Maïs jaune	200	120	107	110
Tourteau de soja	360	93	0	0
Poudre de poisson	300	0	117	0
Production asticots	82	0	0	31
Son de maïs	100	10	5	4
Huile de palme	1000	35	60	55
Coquillage	120	2	2	2
Prix/kg d'aliment (FCFA)		260	291	202
Marge bénéficiaire brute/soja				58 FCFA/Kg
Marge bénéficiaire brute/poisson				89 FCFA/Kg

DISCUSSION

Le faible rendement de production d'asticots sur le substrat Déchets de mangues (DM) par rapport aux autres substrats s'expliquerait par le fait que les mangues sont pauvres en protéines, le principal nutriment favorable à la formation des oeufs (Leyo *et al.*, 2021) mais plutôt très riche en sucre qui n'est pas assez favorable au dépôt des oeufs (Nzamujo, 1999). En effet, les mangues contiennent une teneur en protéines estimée entre 0,35 g et 0,40 g pour 100 g de fruits pesés après séchage alors que celle des sucres est estimée entre 16,20 g et 17,18 g pour 100 g de fruits pesés après séchage (Tharanathan *et al.*, 2006).

Les rendements de production plus élevés obtenus avec les substrats LP et DP par rapport aux rendements obtenus sur les substrats CR et DP s'expliquerait par le fait que les premiers ont une attirance plus élevée des mouches que les deux autres

substrats (**Ekoue et Hadzi, 2000**). Le classement en fonction du niveau de production d'asticots sur les différents substrats qui place en première position le substrat DP, en deuxième position le substrat LP, en troisième position le substrat CR et enfin à quatrième position le substrat DM est lié à leur teneur en protéines. En effet, les substrats contenant plus de protéines sont plus attractifs et permettent une production d'asticots que les substrats contenant de faibles quantités de protéines qui sont moins attractifs (**Itongwa et al., 2019**).

Le rendement obtenu sur le substrat DP n'est pas significativement différent ($p \geq 0,05$) de celui obtenu sur le substrat LP. Cela s'expliquerait par le fait que ces deux substrats, riches en matières organiques, ont des compositions qui ne seraient pas très éloignées. Aussi, ce sont toutes des matières de fermentation et de putréfactions reconnues par les chercheurs (**Yamamoto et Jensen, 1967**) comme dégageant des odeurs qui attirent énormément les mouches plus que ceux qui dégagent moins d'odeur. Il en résulte de cette comparaison que les meilleurs substrats en ce qui concerne la production d'asticots sont le substrat DP et le substrat LP.

L'évaluation de la qualité des asticots va s'exprimer en termes de quantité de matière sèche (MS) et en termes de quantité de protéines. Sur l'ensemble des deux expériences, les teneurs en MS des asticots obtenus sur les substrats CR et LP plus élevées par rapport à celles obtenues sur les substrats DM et DP s'expliqueraient par le fait que les substrats CR et LP contiendraient moins d'eau que les deux autres substrats. De fait, l'eau étant réduite dans ces deux substrats, les asticots qui y sont produits ne peuvent donc pas contenir des grandes quantités. On n'en déduit que plus un substrat regorge d'eau, plus les asticots qui y sont produits en contiennent.

L'analyse physicochimique des différents asticots produits sur les substrats a permis de détecter un certain nombre d'acides aminés et de vitamines en fonction des étalons qui étaient disponibles. La valine qui est un acide aminé essentiel indispensable pour le métabolisme musculaire, la coordination, la réparation des tissus, le traitement des maladies du foie et des vésicules biliaires (**Doi et al., 2003 ; Wolfe, 2017 ; Green and Lamming, 2019**) est présent en quantité importante dans les asticots produits quel que soit le substrat suggérant que la consommation d'asticots produits dans la région de Korhogo par les oiseaux ne provoquerait pas de défaillances liées à une carence en valine. En plus de la valine, des acides aminés non essentiels ont été détectés. Ce sont l'arginine, la cystéine, l'acide glutamique et la proline. La présence de ces acides aminés diminuerait l'activité de leur synthèse par l'organisme. Ceci est avantageux pour l'organisme.

Les asticots produits à partir des différents substrats sont riches en vitamine A, B1, B2 et B12 ce qui implique une fois de plus que les asticots produits à partir de déchets de Korhogo constituent un bon ingrédient à utiliser dans l'alimentation de volaille.

De ce qui précède, on en déduit que la meilleure manière de gérer durablement les déchets qui augmentent la pullulation des vecteurs de maladies dans la ville de Korhogo serait de les utiliser comme des substrats pour produire des asticots de

grande valeur nutritive.

La teneur en protéines de la poudre d'asticots (47,12 %) obtenue dans cette étude est plus faible que celle relatée par **Ouédraogo et al. (2015)**, mais reste assez importante pour qu'on puisse affirmer que la poudre d'asticots, obtenue à partir du mélange des asticots produits sur les différents substrats, constitue une ressource intéressante de protéines pour l'alimentation de la volaille. Cela est d'autant justifié que la teneur en protéines de ces asticots de notre étude (47,12 %) est très largement supérieure à la teneur recommandée (16–21 %) pour l'alimentation des volailles (**Juin et al., 2015**).

La teneur en protéines des asticots de l'étude est comparable à la teneur en protéines de la poudre de poisson utilisée dans le cadre de notre étude. Cela atteste une fois de plus que les asticots constituent une très bonne source protéique pour l'alimentation animale puisque la poudre de poisson constitue un référentiel fiable de source protéique pour l'alimentation animale en général et l'alimentation de volaille en particulier.

Le fait que la teneur en matière grasse des asticots de notre étude soit supérieure à la valeur de 17 % estimée dans la table de composition de la **FAO (2019)** n'empiète en rien leur valeur nutritive d'un régime formulé puisque l'ingrédient majoritaire dans la formulation du régime qu'est le maïs est très pauvre en matière grasse (**Kimou et al., 2018**). Les résultats obtenus après l'évaluation des différents composants de la poudre d'asticots militent en faveur de son utilisation en alimentation animale. La question qui se pose est de savoir si ce produit pourra donner de bons rendements de production. Pour répondre à cette question, des tests expérimentaux ont été effectués pour évaluer les effets de l'incorporation de la poudre d'asticots dans l'alimentation des coquelets en comparaison à celle de la poudre poissons et du tourteau de soja. De plus, aucun effet néfaste sur la santé des coquelets n'a été observé, ce qui suggère qu'aucune des poudres ne contient des molécules toxiques.

Concernant l'étude sur les paramètres chez les coquelets, au début de l'expérimentation (4^{ème} semaine), aucune variation significative n'a été enregistrée entre les poids vifs moyens des poussins par lot. Par contre, une diminution de poids vif moyen a été notée chez les coquelets consommant le régime soja (Rs) à la 6^{ème} et à la 8^{ème} semaine par rapport aux autres régimes attestant que les régimes Rp et Ras engendrent de meilleures performances pondérales par rapport au régime Rs. Cela se justifierait par le fait que pour la confection des régimes Rp et Ras les sources protéiques utilisées sont d'origine animale alors que la source protéique du régime Rs est d'origine végétale. En effet, les protéines d'origine animale sont plus riches et bien diversifiées en acides aminés essentielles que les protéines d'origine végétale. Aussi, la biodisponibilité des acides aminés des protéines animales est plus élevée que la biodisponibilité des acides aminés dans les protéines d'origine végétale (**Tang et al., 2009 ; Babault et al., 2015 ; Lecerf et al., 2019**). On en déduit que l'utilisation des asticots en alimentation du coquelet comme source protéique exclusive est meilleure que celle du tourteau de soja. Les mêmes effets bénéfiques de la poudre d'asticots en ce qui concerne la croissance pondérale ont été rapportés par plusieurs autres auteurs tels

que **Bouafou et al. (2008)** en Côte d'Ivoire chez le rat jeune en croissance, **Hwangbo et al. (2009)** en Corée du Sud chez le poulet de chair, **Ossey et al. (2012)** en Côte d'Ivoire chez les larves de *Heterobranchus longifilis*, **Ouedraogo et al. (2015)** au Burkina-Faso chez le poulet de chair, **Agodokpessi et al. (2016)** au Bénin chez les dindonneaux en démarrage et par **Guedegbé (2017)** chez les poulets de chair.

Au début de l'expérimentation, la consommation alimentaire la plus élevée était observée chez les coquelets consommant le régime Rs montrant une adaptation à ce régime plus facilement que les autres régimes. Durant tout le reste de la période expérimentale, de la 6^{ème} à la 8^{ème} semaine, la consommation alimentaire des Rp et Ras était les plus élevées attestant leur meilleure appétence par rapport au régime Ras.

La consommation de nourriture dans le cas de notre expérimentation est comparable à celle rapportée par **Bouafou (2011)** lorsqu'il utilise la poudre d'asticots comme source protéique dans l'alimentation du rat. Le fait qu'il y ait une augmentation de consommation de nourriture, cela est en accord avec les résultats de **Okah et al. (2012)**, qui en incorporant 20 à 50 % de poudre d'asticots dans la ration des poulets de chair au Nigéria, ont enregistré une augmentation de la consommation alimentaire.

Pour ce qui est des indices de consommation (IC), les résultats obtenus confortent la thèse selon laquelle la poudre d'asticots est riche en protéines car durant toute la période expérimentale, les coquelets ayant reçu celle-ci dans la ration ont présenté les indices de consommation les plus faibles ($p \leq 0,05$). Nos résultats corroborent ceux de **Ouedraogo et al. (2015)**, qui ont aussi obtenus de meilleurs indices de consommation chez les poulets de chair nourris avec une ration contenant la poudre d'asticots. Il en est de même pour **Ayssiwede (2013)** qui a obtenu des résultats similaires sur les poulets de chair Hubbard au Sénégal.

Compte tenu des résultats obtenus, on constate une marge bénéficiaire de 58 FCFA/Kg d'aliment formulé par rapport au régime contenant du tourteau de soja et une diminution de 80 FCFA/Kg d'aliment formulé par rapport au régime contenant de la poudre de poisson.

La poudre d'asticots constitue donc un atout essentiel pour améliorer la rentabilité de la production du coquelet.

CONCLUSION

Cette étude révèle que les meilleurs substrats en termes de production d'asticots sont ceux de Déchet de Poissons (DP) et de Lisier de Porc (LP). Toutefois, l'analyse des asticots produits sur chaque substrat ont de bonnes valeurs protéiques. Lorsqu'on fait une comparaison entre les différentes sources protéiques utilisées pour l'expérimentation animale, il ressort que le tourteau de soja est plus riche en protéines brutes que la poudre de poisson et la poudre d'asticots alors que ces dernières citées ont quasiment les mêmes teneurs en protéines brutes. L'incorporation de la poudre d'asticots n'a pas engendré d'effets néfastes sur la santé, la mortalité et la consommation alimentaire des coquelets comparativement à l'incorporation de la poudre du tourteau de soja ou de la poudre de poisson. Elle a plutôt permis d'améliorer significativement le poids vif moyen, le gain moyen quotidien, l'indice de consommation et

la marge nette bénéficiaire des coquelets.

Le tourteau de soja et la poudre de poisson étant les sources protéiques de référence utilisées en aviculture, on en déduit que la meilleure manière de gérer durablement ces déchets, serait de les utiliser pour la production en masse des asticots. Ceci permettrait également de diminuer le coût de production et d'augmenter les revenus des aviculteurs.

Conflit d'intérêt

Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêt

Références

- Agodokpessi B.J., Toukourou Y., Alkoiret I.T. and Senou M. (2016). Performances zootechniques des dindonneaux à base de farine d'asticots, *Tropicultura*, 34(4), 253-261.
- AOAC. (2005). Official Methods of Analysis of AOAC International, 16th edition, 100p.
- Ayssiwede S.B., Abderahim C.M., Issa Y., Hane M.B., Mouanda V. and Missohou A. (2013). Performances zootechnico-économiques et caractéristiques de carcasse des poulets de chair (Hubbard F15) nourris aux rations à base de feuilles de *Leucaena leucocephala* (LAM) au Sénégal. Journées Scientifiques du 10^{ème} Anniversaire de la Revue Africaine de Santé et Production Animales (RASPA), 17-22 juin 2013, Dakar (Sénégal).
- Babault N., Paizis C., Deley G., Guérin-Deremaux L., Saniez M-H., Lefranc-Millot C. and Allaert A.F. (2015). Pea proteins oral supplementation promotes muscle thickness gains during resistance training: a double-blind, randomized, Placebo-controlled clinical trial vs. Whey protein. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 12, 3.
- BIPEA. (1976). Bureau Interprofessionnel d'Études analytiques. Recueil des méthodes d'analyses des communautés Européennes : 2 route du port Charbonnier, 92230 Gennevilliers, 140 p.
- Bouafou K.G.M., Kouame K.G., Amoikon E.K. and Offoumou A.M. (2006). Potentiels pour la production d'asticots sur des sous-produits en Côte d'Ivoire, *Tropicultura*, 24, 157-161.
- Bouafou K.G.M., Zannou-Tchoko V., Konan B.A. and Kouame K.G. (2008). Etude de la valeur nutritionnelle de la farine d'asticots séchés chez le rat en croissance. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 12, 215-225.
- Bouafou K.G.M. (2011). Revue bibliographique sur les asticots et leur emploi dans l'alimentation animale. *Journal of Animal & Plant Sciences*, (12)2, 1543-1551.
- Bouafou K.G.M., Konan K.G. and Kati-Coulibaly S. (2011). Substitution de la farine de poisson par la farine d'asticots séchés dans le régime du rat en croissance : conséquences histologiques et histopathologiques. *Journal of Applied Biosciences*, 48, 4p.
- Brissoux L. and Elgorriaca P. (2018). Les enjeux de la gestion des déchets à Abidjan : la vitrine de la Côte d'Ivoire face aux défis de l'insalubrité. Rapport d'expertise. Sciences Po Rennes, 57 p.

- Doi M., Yamaoka I., Fukunaga T. and Nakayama M. (2003). Isoleucine, a potent plasma glucose-lowering amino acid, stimulates glucose uptake in C2C12 myotubes. *Biochemical Biophysical Research Communications*, 312(4), 1111-1117.
- Ekoue S.E. and Hadzi Y.A. (2000). Production d'asticots comme source de protéines pour jeunes volailles au Togo-Observations préliminaires. *Tropicultura*, 18(4), 212-214.
- FAO. (2019). Table de composition des aliments FAO/INFOODS pour l'Afrique de l'Ouest. Guide d'utilisation & table de composition des aliments condensés, 556p.
- Green C.L. and Lamming D.W. (2019). Regulation of metabolic health by essential dietary amino acids. *Mechanisms of Ageing Development*, 177, 186-200.
- Guedegbé G. (2017). Performances zoo-économiques des poulets de chair Hubbard nourris avec de la farine d'asticot au Bénin. Spécialité : Biotechnologie et Gestion des Monogastriques, 64p.
- Hardouin J. (1986). Mini-Élevage et sources méconnues de protéines animales. *Annales de Gembloux*, 92, 153-162.
- Hwangbo J., Hong E.C., Jang A., Kang H.K., Kim B.W. and Park B.S. (2009). Utilization of house fly-maggots, a feed supplement in the production of broiler chickens. *Journal of Environmental Biology*, 30(4), 609-614.
- Itongwa A.J., Wasso S.D., Kazamwali M.L., Bisimwa N. P. and Bajope B. J-P. (2019). Essai de production et composition chimique des asticots élevés sur des substrats locaux au Sud-Kivu (RDC). *Journal of Applied Biosciences*, 142, 14529-14539.
- Juin H., Brachet M., Dusart L., Morinière F., Pattier S., Nayet C., Uzureau A., Carrière J., Bordeaux C. and Roinsard A. (2015). Alimentation des volailles en agriculture biologique, Cahier technique, 68p.
- Kimou S.H., Coulibaly L.F., Soumahoro A.B., Koné T. and Koné M. (2018). Influence du mode de culture du maïs [*Zea Mays* (L.) (Poaceae)] et du Niébé [*Vigna Unguiculata* (L.) Walp (Fabaceae)] sur la masse et la qualité nutritionnelle des graines des deux espèces. *European Scientific Journal*, 14(36).
- Koné-Bodou J.P., Kouamé V.K., Doukouré C.F., Yapi D.A.C., Kouadio A.S., Ballo Z. and Sanogo T.A. (2019). Risques sanitaires liés aux déchets ménagers sur la population d'Anyama (Abidjan-Côte d'Ivoire). *La revue électronique en sciences de l'environnement*, 19(1).
- Lecerf J-M. (2019). L'équilibre des protéines végétales et des protéines animales. *Pratiques en Nutrition : santé et alimentation*, 15, 31-34.
- Leyo H.I., Ousmane Z.M., Francis F. and Megido C.R. (2021). Techniques de production d'asticots de mouches domestiques (*musca domestica* L. 1758) pour l'alimentation des volailles, synthèse bibliographique». *Tropicultura*, 39(2).
- Loa C. (2000). Production et utilisation contrôlées d'asticots. *Tropicultura*, 18(4), 215-219.
- Mangunga E. (2013). Synthèse des travaux de recherches sur la production d'asticots pour l'alimentation des monogastriques (cas de la volaille et de rongeur). Travail de fin de cycle présenté en vue de l'obtention du titre de graduation en médecine vétérinaire, 29p.
- Mpoame M., Tégua A. and Nguemfo E.L. (2004). Essai comparé de production d'asticots dans les fientes de poule et dans la bouse de vache. *Tropicultura*, 22(2), 84-87.
- Nzamujo O.P. (1999). Technique for maggot production - The Songhai Experience. Unpublished. Spiller D., 1964. Nutrition and diet of Mscoid flies. *Bulletin de l'O.M.S*, 31, 551-554.
- Okah U. and Onwujiariri E. B. (2012). Performance of finisher broiler chickens fed maggot meal as a replacement for fish meal. *Journal of Agricultural Technology*, 8(2), 471-477.
- Ossey Y. B., Achou R. K., Boua C.A. and Kouame L.P. (2012). Utilisation du soja, de la cervelle bovine et de l'asticot comme sources de protéines alimentaires chez les larves de *heterobranchus longifilus*. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 15(1), 2099-2108.
- Ouédraogo B., Gnanda I.B., Sanfo R., Zoundi S.J. and Bayala B. (2015). Étude comparative des performances réalisées avec l'incorporation de la farine de coproduits de volaille et la farine des asticots dans des rations de poulets de chair au Burkina Faso. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, 25, 148-161.
- SODEXAM (2020). Bulletin Agrométéorologique Décadaire, 8p.
- Tang J.E. and Phillips S.M. (2009). Maximizing muscle protein anabolism: the role of protein quality. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic*, 12, 66-71.
- Tharanathan R.N., Yashoda H.M. and Prabha T. N. (2006). Mango (*Mangifera indica* L.), the king of fruits-an overview. *Food Reviews International*, 22, 95-123.
- Villemin M. (1984). Dictionnaire des Termes Vétérinaires et Zootechniques. Edition Vigot, France, 470p
- Wolfe R.R. (2017). Branched-chain amino acids and muscle protein synthesis in humans: myth or reality? *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 22(14), 30.
- Yamamoto R.R. and Jensen E. (1967). Ingestion of feeding stimulants and protein by the female housefly. *Journal of Insect Physiology*, 13, 91-98.

Performances zootechniques et de reproduction des taurins N'dama et zébus Goudali introduits au ranch Nyanga au Sud-Ouest du Gabon

Koomlan Yélinde Kadjinou Brice ADJAHOUTONON^{1,2*}, Serge Egide Paulin MENSAH², Gbènakpon Luc Hyppolite DOSSA⁴, Gui-Lov DIBANGANGA¹, Floris LOUBAKI³, Olorunto Delphin KOUDANDE², Emile Didier FIOGBE⁵ et Gaël Darren MAGANGA³

Résumé

Après l'introduction du N'dama et de la Goudali au Gabon, leurs performances dans ce pays n'ont pas véritablement été évaluées. Cette étude vise à déterminer par année, les paramètres démographiques, de reproduction et d'exploitation des N'dama et Goudali élevés au ranch Nyanga, au Sud-Ouest du Gabon. Sur les données disponibles entre 2014 et 2020, seules celles de 2014 à 2016 étaient exploitables. Les effectifs totaux de N'dama et Goudali du ranch Nyanga ont augmenté respectivement de 4320 et 438 en 2014 à 4783 et 577 en 2016. La composition du troupeau a peu varié selon la race. La productivité numérique au sevrage a été meilleure chez le N'dama avec respectivement 63,28%, 73,69% et 77,07% contre 69,10%, 50,34% et 52,85% chez le Goudali pour les années 2014, 2015 et 2016. Le taux de mortalité globale a été meilleure chez les N'dama en 2015 et s'est amélioré sur les trois années avec respectivement 3,20%, 2,01% et 1,72% chez le N'dama puis 4,77%, 4,62% et 1,28% chez les Goudali. Le N'dama a été plus exploité avec des taux respectifs de 19,07%, 21,87% et 12% contre 0,96%, 0,46% et 5,83% chez les Goudali. Cela a entraîné de meilleurs croûts nets avec le Goudali (respectivement 40,45%, 18,35% et 12,04% contre -6,27%, 2,24% et 8,09% chez le N'dama). Les différences entre les deux races ont principalement été liées aux mesures de contrôle de la Péripleurpneumonie Contagieuse Bovine entre 2013 et début 2016 surtout dans les troupeaux N'dama, et à la trypano-sensibilité des Goudali. Les performances observées sont bonnes et montrent l'adaptation de ces races aux conditions locales.

Mots-clés : N'dama, Goudali, Elevage, Reproduction, Gabon

Abstract

After the introduction of N'dama and Goudali in Gabon, their performance in this country has not really been evaluated. This study aims to determine the demographic, reproductive and exploitation parameters of N'dama and Goudali raised on the Nyanga ranch, in southwest Gabon. Of the data available between 2014 and 2020, only those from 2014 to 2016 were usable. The total numbers of N'dama and Goudali on the Nyanga ranch increased respectively from 4,320 and 438 in 2014 to 4,783 and 577 in 2016. The composition of the herd varied little by breed. The numerical productivity at weaning was better in N'dama with respectively 63.28%, 73.69% and 77.07% compared to 69.10%, 50.34% and 52.85% in Goudali for the years 2014, 2015 and 2016. The overall mortality rate was better in N'dama in 2015 and improved over the three years with respectively 3.20%, 2.01% and 1.72% in the N'dama then 4.77%, 4.62% and 1.28% in the Goudali. The N'dama were more exploited with respective rates of 19.07%, 21.87% and 12% compared to 0.96%, 0.46% and 5.83% in the Goudali. This led to better net growth in the Goudali (respectively 40.45%, 18.35% and 12.04% compared to -6.27%, 2.24% and 8.09% in the N'dama). The differences between the two breeds are mainly linked to control measures for Contagious Bovine Pleuropneumonia between 2013 and early 2016, mainly in the N'dama herds, and to the trypano-sensitivity of the Goudali. The observed performances are good and show the adaptation of these breeds to local conditions.

Keywords : N'dama, Goudali, Breeding, Reproduction, Gabon

¹Ranch Nyanga, Gabon

²Laboratoire d'Appui à la Santé et la Nutrition Animale et Halieutique / Centre de Recherche Agricole d'Agonkanmè / Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, 01 BP 884 Recette Principale, Cotonou, République du Bénin

³Institut National Supérieur d'Agronomie et de Biotechnologies / Université

des Sciences et Techniques de Masuku, Franceville, Gabon

⁴Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

⁵Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

*Auteur correspondant : (+229) 69 64 69 99 / bricead@gmail.com

Introduction

Au Gabon, l'Agriculture occupe une place très minime dans le tissu économique du pays. La contribution du secteur agricole au Produit Intérieur Brut (PIB) a même baissé de 6,6% en 2020 à 5,6% en 2022 (Groupe Banque Mondiale, 2024). Malgré son fort potentiel et des conditions climatiques favorables, ce secteur a été longtemps négligé au Gabon au profit du secteur pétrolier. Le pays dépend ainsi à plus de

90% des importations en produits carnés (FAO, 2024). Pour accroître la production locale de viande, les gouvernements successifs ont œuvré pour la création de grandes structures d'élevage. Le ranch Nyanga a ainsi été créé au début des années 1980 pour la production de viande bovine et la promotion de l'élevage bovin. Avec un effectif initial de 4 000 Unité Bétail Tropical (UBT) en 1982, le cheptel du ranch a augmenté jusqu'à plus de 18 000 UBT de bovins sur une superficie d'environ 100 000 ha au milieu des années 1990. Le bétail

était composé exclusivement de taurins N'dama importés du Sénégal, de la Gambie et de la République Démocratique du Congo (Pourtier, 1984). Le N'dama est originaire du massif du Fouta-Djalou en Guinée. Il a en effet été choisi pour sa rusticité, sa trypano-tolérance et sa bonne aptitude bouchère. Il proviendrait du bovin hamitique à longues cornes introduit du Moyen-Orient en Afrique depuis plus de 5 000 ans (Coulomb, 1976). Vers la fin des années 2000, les nouveaux propriétaires du ranch y ont introduit des zébus Goudali à partir du Cameroun pour améliorer la conformation et les aptitudes bouchères du cheptel. Le Goudali est un zébu à courtes cornes originaire du Cameroun et du Nigéria connu pour sa docilité et ses aptitudes laitière et bouchère (Joshi *et al.*, 1957). Il descendrait des zébus est-africains et indo-pakistanaïses à courtes cornes introduits en Afrique à partir de 1500 avant Jésus-Christ (Kim *et al.*, 2017). Les paramètres démographiques, de reproduction et d'exploitation du N'dama et du Goudali ont été déterminés dans plusieurs pays d'Afrique subtropicale. Les compositions de troupeau observées sont semblables pour les deux races, notamment chez toutes les femelles et chez les mâles de moins de 3 ans : 1/3 environ de vaches et respectivement 1/10 environ de femelles de 1, 2 et 3 ans et de mâles de 1 et 2 ans. Les mâles entiers de plus de 2 ans sont par contre moins nombreux et les mâles castrés ne sont généralement présents que chez le N'dama dans les stations (Alkoiret *et al.*, 2010). Les taux de mortalité rapportés chez le N'dama sont plus élevés chez les jeunes, surtout jusqu'à un an d'âge et ne sont pas influencés par le sexe (Charray *et al.*, 1977; Alkoiret *et al.*, 2010). Chez le Goudali, les taux de mortalité rapportés sont cumulés pour les veaux des deux sexes et plus élevés comparés à ceux du N'dama (Alassan, 2013; Mfopit *et al.*, 2015). Les taux de fertilité apparente (TFA) et les taux de fécondité (TF) sont globalement moins bons chez la femelle N'dama (Tuah et Danso 1985; Dwinger *et al.*, 1994; Khang'mate *et al.*, 2000; Youssao *et al.*, 2000; Kamga Waladjo, 2003; Alkoiret *et al.*, 2010; Sokouri *et al.*, 2010) comparés à ceux de la Goudali (Lhoste, 1977; Alassan, 2013). La viabilité des veaux au sevrage (VVS) est meilleure chez la N'dama (Tuah et Danso 1985; Alkoiret *et al.*, 2010; Sokouri *et al.*, 2010; Alassan, 2013) et la productivité numérique au sevrage (PNS) semblable pour les deux races (Lhoste, 1977; Alkoiret *et al.*, 2010; Alassan, 2013). Les troupeaux de Goudali considérés ont des croûts nets (CN) plus élevés et des taux d'exploitation (TE) plus faibles que les troupeaux de N'dama (Youssao *et al.*, 2000; Alkoiret *et al.*, 2010; Alassan, 2013).

Depuis l'introduction du N'dama et du Goudali au Gabon, leurs performances dans ce pays à climat de type équatorial n'ont pas été étudiées. La connaissance de ces performances permettrait d'apprécier leur adaptation à l'environnement de ce pays et de les considérer dans les stratégies d'amélioration génétique du bétail. Cette étude vise ainsi à déterminer les paramètres démographiques, de reproduction et d'exploitation des N'dama et Goudali élevés au ranch Nyanga au sud-ouest du Gabon.

Matériel et méthodes

Milieu d'étude

Le ranch Nyanga est situé dans la province de la Nyanga, au sud-Ouest du Gabon. Dans cette région le climat est de type équatorial, chaud et humide. La pluviométrie moyenne annuelle est de 1 583,7 mm, l'humidité moyenne relative de 80%, l'insolation moyenne de 1 400 heures par an et l'évaporation de 1 000 mm par an. On y distingue quatre saisons : une grande saison de pluie de février à mai, une grande saison sèche de juin à septembre, une petite saison de pluie d'octobre à novembre et une petite saison sèche de décembre à janvier. La température moyenne est de 27°C avec un minimum de 25°C en juillet et un maximum de 32°C en mars. Ce climat détermine la disponibilité des pâturages au ranch. Il y a ainsi une période d'abondance de pâturage durant environ 245 jours, de mi-octobre à mai et une période d'insuffisance de pâturage d'environ 120 jours de juin à mi-octobre. La végétation est composée de forêts sempervirentes et de vastes plaines dominées par des graminées (*Panicum phragmitoides*, *Bracharia brizantha*, *Beckerio cunisseta*, *Eriosema geomerata*, *Desmodium sp.* et surtout *Hyparrhenia diplandra*) et quelques arbustes. Le ranch est parcouru par le fleuve Nyanga et ses affluents : la Douki, le Kouri, la Mibamba, la Douli et le Voungou qui servent à abreuver le bétail. Le relief du ranch se caractérise par des plateaux de 300 à 800 m d'altitude, des plaines de moins de 300 m d'altitude et des massifs montagneux, notamment la chaîne du Mayombe qui culmine à 1000 m par endroits (Descouings, 1961). Le bétail du ranch Nyanga est élevé par troupeau de 200 Unité Bétail Tropical (UBT) sur pâturage naturel dans des parcs 1 000 ha de superficie entièrement clôturés au fil barbelé. Une trentaine de parcs sur les 77 que compte le ranch étaient opérationnels au moment de l'étude. Chaque parc comporte cinq parcelles. Une parcelle reste en défens et quatre sont mises à feu de façon rotative au cours de l'année par un feu de contre saison en petite saison sèche (janvier), deux feux précoces en début de grande saison sèche (juin) et un feu tardif en fin de grande saison sèche (septembre).

Matériel animal

L'étude a porté sur les taurins N'dama et les zébus Goudali. Au ranch Nyanga le bétail reçoit un complément minéral *ad libitum* et au besoin un complément énergétique en saison sèche. Le programme de suivi sanitaire comprend un soin hebdomadaire des troupeaux (comptage, examen physique, traitement des affections observées), un bain détiqueur bimensuel et une prophylaxie médicale semestrielle avant et après la grande saison sèche. La prophylaxie médicale semestrielle comprend la vermifugation au Lévamisol, la trypano-prévention à Chlorure d'Isométhamidium et les vaccinations contre la septicémie hémorragique et la Péri Pneumonie Contagieuse Bovine. Les zébus et leurs croisements reçoivent un traitement trypano-préventif supplémentaire en milieu de grande saison sèche. Les veaux reçoivent des injections d'ivermectine et d'oxytétracycline à la naissance puis des injections de Lévamisol, d'Acéturate de Diminazène et de vaccin contre la septicémie hémorragique à trois mois d'âge. Les génisses sont vaccinées contre la

brucellose bovine à 7 mois d'âge.

Le premier service des génisses se fait à au moins 2 ans et demi d'âge et 2/3 du poids adulte pour environ 63 jours (3 cycles œstraux) de mi-mars à mi-mai. Les vaches sont mises en reproduction suivant une saison de monte principale de mi-novembre à mi-février pour environ 84 jours (4 cycles œstraux) et une saison de monte complémentaire pour les vaches vides de la saison de monte principale de mai à mi-juin pour environ 42 jours (2 cycles œstraux). Les taureaux font leur premier service à 4 ans. Les vaches sont réformées à 10 ans d'âge ou après une année sans veau, les génisses au taureau (GT) après une mise à taureau sans veau et les taureaux à 8 ans d'âge. Les candidats boucherie (bovins destinés à la commercialisation) sont constitués à partir des bouvillons de 4 ans, puis des taureaux, vaches et génisses au taureau réformés.

Collecte des données

Les fiches chronologiques de suivi mensuel du troupeau du ranch Nyanga de janvier 2014 à décembre 2020 ont été consultées. Les données permettant de distinguer les effectifs, les mortalités, les paramètres de reproduction et les paramètres d'exploitation des taurins N'dama et des zébus Goudali ne couvrent que la période de janvier 2014 à décembre 2016. Ces données ont été exploitées pour calculer différents paramètres pour chacune des deux races et pour chaque année (Lhoste, 2001) comme présenté dans le tableau 1.

Tableau 1 : Mode de calcul des paramètres

Paramètres	Formules de calcul	Composantes
Taux de fertilité apparente	$TFa = \frac{GA}{R} \times 100$	TFa = Taux de fertilité apparente GA = Nombre de gestantes avancés R = Nombre de femelles mise en reproduction
Taux de fécondité	$TF = \frac{NV}{R} \times 100$	
Viabilité des veaux au sevrage	$VS = \frac{S}{NV} \times 100$	VS = Viabilité des veaux au sevrage NV = Nombre de veaux nés vivants
Productivité numérique au sevrage	$PNS = \frac{S}{R} \times 100$	S = Nombre de veaux sevrés PNS = Productivité numérique au sevrage
Taux de mortalité	$TM = \frac{NM}{EM} \times 100$	TM = Taux de mortalité NM = Nombre de morts EM = (Effectif final - Effectif initial)/2 = Effectif moyen
Taux d'exploitation numérique	$TEN = \frac{NE}{EF} \times 100$	TEN = Taux d'exploitation numérique NE = Nombre d'animaux exploités EF = Effectif final
Croît numérique net	$CNN = \frac{EF - EI - I}{EF} \times 100$	CNN = Croît numérique net EI = Effectif initial I = Immigration RN = Rendement numérique
Rendement numérique	$RN = TEN + CNN$	

Source : (Lhoste, 2001)

Analyse statistique

Pour chacune des années 2014, 2015 et 2016, les proportions d'effectif par catégories, les paramètres de reproduction et les taux mortalités ont été comparés entre les taurins N'dama et les zébus Goudali, par des tests d'égalité de proportion, à l'aide du logiciel R version 4.2.0 (R Development Core Team, 2022).

Résultats

Effectifs par catégorie

Les effectifs totaux des années 2014, 2015 et 2016 ont augmenté d'une année à l'autre (respectivement de 4320, 4424 et 4783 pour les N'dama et de 438, 516 et 577 pour les Goudali). Les proportions par catégories entre 2014 et 2016 (Tableau 2) ont varié chez les N'dama et Goudali respectivement de 4,58 à 9,81% et de 7,28 à 13,83% pour les veaux et velles, de 14,40 à 22,03% et de 12,02 à 22,70% pour les taurillons et génisses, de 3,32 à 15,74% et de 0,00 à 7,75% pour les bouvillons, 2,64 à 4,09% et de 2,25 à 3,63% pour les taureaux puis de 35,66 à 37,76% et de 35,66 à 43,76% pour les vaches et génisses au taureau (GT). Les proportions de bouvillons ont aussi baissé de deux à trois fois entre 2015 à 2016.

Les proportions par catégories ne diffèrent pas significativement selon la race ($p > 0,05$), sauf en 2014 avec proportionnellement plus de veaux, velles, vache et GT Goudali et moins de génisses et bouvillons Goudali que de N'dama, puis en 2015 avec plus de génisses Goudali que de N'dama ($p < 0,05$).

Tableau 2 : Proportion par catégories des effectifs en fin d'année de taurins N'dama et de zébus Goudali élevés au ranch Nyanga de 2014 à 2016

Catégories	Années	Races	
		N'dama (%)	Goudali (%)
Veaux (0 à 9 mois)	2014	4,75 ^a	13,15 ^b
	2015	9,49 ^a	10,85 ^a
	2016	7,92 ^a	7,90 ^a
Velles (0 à 9 mois)	2014	4,58 ^a	13,83 ^b
	2015	9,81 ^a	7,36 ^a
	2016	7,86 ^a	7,28 ^a
Taurillons (10 à 48 mois)	2014	14,93 ^a	12,02 ^a
	2015	14,40 ^a	13,18 ^a
	2016	19,86 ^a	22,70 ^a
Génisses (10 à 30 mois)	2014	20,79 ^a	13,61 ^b
	2015	18,19 ^a	22,48 ^b
	2016	22,03 ^a	19,76 ^a
Bouvillons (24 à 48 mois)	2014	15,74 ^a	0,00 ^b
	2015	6,26 ^a	7,75 ^a
	2016	3,32 ^a	1,91 ^a
Taureaux (plus de 48 mois)	2014	2,64 ^a	3,63 ^a
	2015	4,09 ^a	2,71 ^a
	2016	3,34 ^a	2,25 ^a
Vaches et Génisses au taureau (plus de 30 mois)	2014	36,57 ^a	43,76 ^b
	2015	37,76 ^a	35,66 ^a
	2016	35,66 ^a	38,30 ^a

Les valeurs d'une même ligne, marquées de lettres différentes sont statistiquement différentes ($p < 0,05$)

Performances de reproduction

En 2014, 2015 et 2016, respectivement 1013, 1239 et 1496 femelles N'dama et 178, 145 et 193 femelles Goudali ont été mises à la reproduction. Parmi ces femelles, respectivement 886, 1111 et 1308 N'dama et 153, 97 et 148 Goudali ont été diagnostiquées gestantes. Le nombre de veaux nés vivants des femelles gestantes ces années était respectivement 704, 988 et 1288 pour les N'dama et 137, 77 et 132 pour les Goudali. De ces veaux nés vivants, respectivement 641, 913 et 1153 N'dama et 123, 73 et 102 Goudali ont été sevrés.

Le taux de fertilité apparente, le taux de fécondité et la productivité numérique au sevrage (Tableau 3) étaient comparables en 2014 pour les deux races ($p > 0,05$). Ces paramètres étaient par contre meilleurs ($p < 0,05$) chez les N'dama en 2015 et 2016. La viabilité des veaux au sevrage

était comparable ($p>0,05$) en 2014 et 2015 pour les deux races, mais meilleure ($p<0,05$) chez les N'dama en 2016.

Tableau 3 : Paramètres de reproduction des taurins N'dama et des zébus Goudali élevés au ranch Nyanga de 2014 à 2016

Paramètres	Années (janvier à décembre)	Races	
		N'dama (%)	Goudali (%)
Taux de fertilité apparente	2014	87,46 ^a	85,96 ^a
	2015	89,67 ^a	66,90 ^b
	2016	87,43 ^a	76,68 ^b
Taux de fécondité	2014	69,50 ^a	76,97 ^a
	2015	79,74 ^a	53,10 ^b
	2016	86,10 ^a	68,39 ^b
Viabilité des veaux au sevrage	2014	91,05 ^a	89,78 ^a
	2015	92,41 ^a	94,81 ^a
	2016	89,52 ^a	77,27 ^b
Productivité numérique au sevrage	2014	63,28 ^a	69,10 ^a
	2015	73,69 ^a	50,34 ^b
	2016	77,07 ^a	52,85 ^b

Les valeurs d'une même ligne, marquées de lettres différentes sont statistiquement différentes ($p<0,05$)

Taux de mortalité

De façon générale, les mortalités (Tableau 4) diminuent de 2014 à 2016 (3,20 à 1,72% et 4,77 à 1,28% respectivement chez les N'dama et les Goudali). Le taux de mortalité est plus élevé chez les veaux et les adultes (vaches et taureaux) que chez les animaux en croissance (taurillons, bouvillons et génisses).

Le taux de mortalité globale ne diffère pas significativement ($p>0,05$) selon la race, sauf en 2015 où il est plus élevé ($p<0,05$) chez les Goudali. Le taux de mortalité par catégorie ne diffère pas non plus significativement ($p>0,05$) selon la race sauf en 2015 où il est plus élevé chez les génisses Goudali et en 2016 où il est plus élevé chez les taureaux N'dama ($p<0,05$).

Tableau 4 : Taux de mortalité par catégories chez les taurins N'dama et des zébus Goudali élevés au ranch Nyanga de 2014 à 2016

Catégories	Années (janvier à décembre)	Races	
		N'dama (%)	Goudali (%)
Veaux (0 à 9 mois)	2014	12,67 ^a	17,39 ^a
	2015	9,57 ^a	10,71 ^a
	2016	3,75 ^a	1,98 ^a
Velles (0 à 9 mois)	2014	12,75 ^a	7,79 ^a
	2015	5,06 ^a	8,08 ^a
	2016	3,46 ^a	0,00 ^a
Taurillons (9 à 48 mois)	2014	1,67 ^a	3,74 ^a
	2015	0,62 ^a	1,67 ^a
	2016	0,88 ^a	0,00 ^a
Génisses (9 à 30 mois)	2014	1,85 ^a	0,00 ^a
	2015	0,47 ^a	4,55 ^b
	2016	0,97 ^a	1,74 ^a
Bouvillons (24 à 48 mois)	2014	1,32	-
	2015	0,84 ^a	0,00 ^a
	2016	1,83 ^a	0,00 ^a
Taureaux (plus de 48 mois)	2014	4,26 ^a	12,50 ^a
	2015	7,46 ^a	6,67 ^a
	2016	4,69 ^a	0,00 ^b
Vaches et Génisses au taureau (plus de 30 mois)	2014	2,01 ^a	3,04 ^a
	2015	1,16 ^a	3,20 ^a
	2016	1,30 ^a	1,98 ^a
Toutes catégories	2014	3,20 ^a	4,77 ^a
	2015	2,01 ^a	4,62 ^b
	2016	1,72 ^a	1,28 ^a

Les valeurs d'une même ligne, marquées de lettres différentes sont statistiquement différentes ($p<0,05$)

Paramètres d'exploitation

Le taux d'exploitation numérique est plus élevé (12 à 19%)

chez les N'dama comparé à celui des Goudali (0,5 à 6%) et le croît net par conséquent plus élevé chez les Goudali. Le rendement numérique qui est la somme des paramètres précédents est comparable et de l'ordre de 20% pour les deux races, sauf en 2014 où il est trois fois plus élevé chez les Goudali (Tableau 5).

Tableau 5 : Paramètres d'exploitation chez des taurins N'dama et des zébus Goudali élevés au ranch Nyanga de 2014 à 2016

Paramètres	Années (janvier à décembre)	Races	
		N'dama (%)	Goudali (%)
Taux d'Exploitation Numérique (%)	2014	19,07	0,96
	2015	21,87	0,46
	2016	12,00	5,83
Taux de Croît Net (%)	2014	-6,27	40,45
	2015	2,24	18,35
	2016	8,09	12,04
Rendement Numérique (%)	2014	12,80	41,40
	2015	24,12	18,81
	2016	20,09	17,86

Discussion

Les données permettant de distinguer les paramètres par race n'étaient pas disponibles après 2016 suite au changement du mode de gestion des troupeaux du ranch Nyanga. Jusqu'à novembre 2017 en effet, les reproductrices N'dama et Goudali étaient mises en reproduction dans des troupeaux séparés. Les effectifs des bovins en croissance et des mâles reproducteurs étaient aussi distingués par race dans les effectifs totaux. Les performances par races ne pouvaient donc plus être appréciées, ni la pureté maintenue, à partir de 2017.

Effectifs par catégorie

Les proportions par catégorie des N'dama du ranch Nyanga sont comparables aux proportions (7,43% ; 11,45% ; 12,92% ; 4,03% ; 1,65% et 32,34% respectivement pour les veaux, velles, taurillons, bouvillons, taureaux et vaches) rapportées sur la ferme de l'Okpara au Bénin (Alkoiret *et al.*, 2010). Par contre les proportions de génisses N'dama du ranch Nyanga sont inférieures au 30,16% rapportés par les mêmes auteurs. Cette différence s'explique par la tranche d'âge de cette catégorie qui est de 10 à 30 mois au ranch Nyanga contre 12 à 36 mois à la ferme de l'Okpara. Les proportions par catégorie des Goudali sont aussi proches des proportions rapportées (8,5 à 11,9% ; 8,7 à 12,6% ; 15,3 à 19,8% ; 18,2 à 27,2% et 19,5 à 36,3% respectivement pour les veaux, velles, taurillons, bouvillons et vaches) dans des élevages à Malanville et Karimama au Bénin (Alassan, 2013). Mais les proportions de taureaux Goudali au ranch Nyanga sont plus faibles et conformes aux normes recommandées que les 10,5 à 13,3% observés dans les élevages précités. Dans la pratique, 4 taureaux pour les terrains plats et 10 pour les terrains pentus, arborés ou arbustifs sont en principe suffisants pour saillir cent vaches (de Hertog, 2016). Le ranch Nyanga, à cause de son relief accidenté et de sa végétation composée de savanes arbustives et de forêts galeries, utilise 10 taureaux pour 100 vaches.

La diminution marquée des proportions de bouvillons des deux races de 2015 à 2016, contrairement aux autres catégories, s'explique par leur surexploitation pour deux raisons. D'abord, le plan d'éradication de la PPCB introduite au ranch en 2010 exigeait un abattage sanitaire progressif

de tous les bovins situés en zone infectée. Tous les mâles en croissance de cette zone ont donc été castrés et abattus avant la fin de leur croissance, notamment en 2014 et 2015. Ensuite, ces abattages précoces ont épuisé les réserves en animaux de boucherie du ranch, ce qui a obligé fin 2015 et en 2016 à abattre d'autres bouvillons en croissance pour satisfaire la clientèle. Les proportions significativement plus élevées de veaux et velles Goudali en 2014 sont la résultante du taux de fécondité plus élevée chez les Goudali la même année. Cela s'explique par l'arrêt de la reproduction en 2013 dans la zone du ranch infectée par la PPCB, zone qui comportait encore des vaches N'dama qui ont été progressivement abattues jusqu'en avril 2016. Par ailleurs, les seuls Goudali présents au ranch Nyanga à partir de 2014 provenaient de génisses importées au ranch en 2011 et mises en premier service par insémination artificielle en avril 2012, puis de taureaux importés début 2013, tous indemnes de PPCB. Leurs premiers veaux sont nés en décembre 2012, ont été sevrés en octobre 2013 et les mâles castrés en 2015. C'est ce qui expliquerait les proportions significativement plus élevées de vaches et GT et plus faibles de génisses et bouvillons Goudali en 2014.

Performances de reproduction

Les paramètres de reproduction (taux de fertilité apparente, taux de fécondité, viabilité des veaux au sevrage et productivité numérique au sevrage) obtenus au ranch Nyanga entre 2014 et 2016 sont globalement meilleurs chez les N'dama que chez les Goudali. Cette différence est attribuable à la trypano-sensibilité des Goudali. Ces paramètres, pour les deux races, sont plutôt bons et du même ordre que ceux rapportés en station ou en élevage moderne sur des N'dama au Ghana (Tuah et Danso 1985) et en Côte d'Ivoire (Sokouri *et al.*, 2010), et sur des Goudali au Cameroun (Lhoste, 1977) et au Bénin (Alassan, 2013). Par contre, les paramètres de reproduction des N'dama du ranch sont meilleurs que ceux rapportés en station au Bénin (Alkoiret *et al.*, 2010), ce qui montre encore la bonne adaptation de cette race aux conditions du ranch. La productivité numérique au sevrage est la résultante du taux de fécondité et de la viabilité des veaux au sevrage. Les productivités numériques au sevrage plus faibles chez les N'dama en 2014 et 2015 sont la conséquence des mesures de contrôle de la PPCB mises en œuvre entre 2013 et début 2016 détaillés plus haut. A l'opposé, la productivité numérique au sevrage chez les Goudali, vivants en zone indemne, est très bonne en 2014. Une bonne productivité numérique au sevrage est l'indicateur d'une bonne stratégie d'élevage et de reproduction dans la mesure où elle assure le renouvellement du troupeau et un bon croît net. Elle permet aussi la disponibilité des candidats à la boucherie, et par conséquent un bon taux d'exploitation.

Taux de mortalité

Les taux de mortalité globale du ranch Nyanga de 2014 à 2016 sont plutôt bons et montrent l'efficacité du programme de prophylaxie et du plan de suivi du bétail. L'absence de différence statistiquement significative entre les taux de mortalités observés chez les N'dama et les Goudali serait la preuve de l'efficacité de la stratégie de trois traitements trypano-préventifs annuels pour les Goudali trypano-

sensibles, contre deux pour les N'dama trypanotolérants. La baisse des mortalités au fil des années s'expliquerait aussi par l'efficacité du plan de contrôle de la PPCB par l'isolement et l'abattage progressif jusqu'à avril 2016 des bovins en zone infectée. Les taux de mortalité des veaux N'dama en 2014 et 2015 sont comparables à ceux rapportés en Côte d'Ivoire (7,1 à 9,5%) (Charray *et al.* 1977) et au Bénin (2,4 à 9,9%) (Alkoiret *et al.*, 2010). Il en est de même des taux de mortalité des veaux Goudali rapportés au Cameroun (26,7%) (Mfopit *et al.*, 2015) et au Bénin (5,7 à 14,7%) (Alassan, 2013). La tendance des mortalités plus faibles chez les adultes que chez les veaux est confirmée sur les N'dama par les observations faites en Côte d'Ivoire (Charray *et al.*, 1977). Les mortalités plus élevées chez les adultes des deux races, comparés aux jeunes (génisses, taurillons et bouvillons) s'expliqueraient par le processus d'adaptation aux conditions du ranch Nyanga de ces adultes, dont beaucoup sont issus d'importation. En effet, environ 87% des taureaux N'dama, 38% des vaches et GT N'dama et 100% des taureaux, vaches et GT Goudali présents en 2014 ont été importés de la République Démocratique du Congo et du Cameroun.

Paramètres d'exploitation

Les taux d'exploitation de l'ordre de 1/5 pratiqués sur les N'dama en 2014 et 2015 sont trop élevés et se justifient par les mesures de contrôle de la PPCB de 2013 à début 2016. La preuve est le retour en 2016 à un taux d'exploitation correct d'environ 1/10 et comparable à celui observé au sud-Bénin (Alkoiret *et al.*, 2010). Les Goudali par contre ont été très peu exploités avant 2016 afin de permettre la croissance du troupeau reconstitué par importation. Le taux d'exploitation des Goudali en 2016 est proche des 6,3 à 8,5% observés avec la même race au Bénin (Alassan, 2013) dans des élevages traditionnels, qui sont connus pour leur réticence au déstockage. Les croûts nets négatif en 2014 et faible en 2015 chez les N'dama sont dus à l'effet combiné des taux d'exploitation élevés et des productivités numériques au sevrage plus faibles. Le croît net proche de 10% obtenu en 2016 est d'ailleurs bon et meilleur par rapport à celui rapporté au Bénin (Alkoiret *et al.*, 2010). Les Goudali du ranch étaient élevés en zone indemne et favorisés par de faibles taux d'exploitation et de bonnes productivités numériques au sevrage. Par conséquent, leurs croûts nets sur les trois années sont bons et meilleurs à ceux rapportés dans des élevages traditionnels au Bénin (Alassan, 2013). Les rendements numériques se stabilisent aussi bien pour les N'dama que les Goudali autour de 20% en 2015 et 2016 ce qui montre une tendance à l'expansion au niveau des deux troupeaux. Le rendement numérique qui est la somme du taux d'exploitation et du croît net constitue le résultat global de l'année (Lhoste, 2001). Pour des mêmes mortalités et naissances, des taux d'exploitation élevés induisent des croûts nets et des rendements numériques bas et vice-versa. Et pour des taux d'exploitation identiques, les croûts nets et rendements numériques dépendent de l'équilibre entre les naissances et les mortalités.

Conclusion

Les effectifs totaux des N'dama et Goudali du ranch Nyanga ont augmenté entre 2014 et 2016. Les variations des effectifs par catégorie entre les deux races sont liées à l'arrêt de la reproduction et aux abattages sanitaires en zone atteinte par la PPCB entre 2013 et début 2016. Les paramètres de reproduction ont été globalement bons et se sont améliorés de 2014 à 2016 chez les N'dama. Les taux de mortalités ont été bons et se sont aussi améliorés au fil des années chez les deux races, du fait du contrôle de la PPCB, de l'efficacité du plan de prophylaxie et de l'adaptation des bovins aux conditions du ranch. Malgré une exploitation plus importante des N'dama dans le cadre du contrôle de la PPCB et des paramètres de reproduction moins bons chez les Goudali, les troupeaux des deux races ont connu, surtout en 2015 et 2016, de bons croûts nets et rendements numériques, preuves d'une expansion. Le ranch devrait retourner à la gestion séparée des différentes races de bovin afin de permettre l'évaluation de leur performance et garantir leur pureté génétique. Par ailleurs les bonnes performances du N'dama et du Goudali devraient être valorisées dans les programmes d'amélioration génétique en Afrique subtropicale. La résistance aux maladies de ces deux races bovines au Gabon devrait aussi être étudiées pour mieux apprécier leur adaptation aux conditions de ce pays.

Remerciements

Les auteurs remercient les responsables et le personnel de SIAT Gabon, propriétaire du ranch Nyanga au moment de la collecte des données pour leur disponibilité et leur aide.

Conflits d'intérêts

Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêts.

Références

Alassan A. S. (2013). Typologie et productivité des élevages de Zébu Goudali situés dans les Communes de Malanville et de Karimama à l'extrême Nord du Bénin. Mémoire d'ingénieur agronome, Université de Parakou, Bénin, 103p. http://www.slire.net/download/2235/memoire_ing_nieur_assani.pdf

Alkoiret I. T., Awouhuedji D. Y. G. and Yacoubou A. M. (2010). Paramètres démographiques des cheptels de bovins Borgou et N'Dama à la Ferme d'Elevage de l'Okpara au nord-est du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 4 : 1657–1666.

Charray J., Coulomb J. and Mathon J.-C. (1977). Le croisement jersiais x N'Dama en Côte-d'Ivoire: analyse des performances des animaux demi-sang produits et élevés au Centre de Recherches Zootechniques de Minankro. *Rcv. Elev. Méd. Vét. Pays Trop.*, 30 : 67–83. <https://agritrop.cirad.fr/455336/1/ID455336.pdf>

Coulomb J. (1976). La race N'Dama: quelques caractéristiques zootechniques. *Rcv. Elev. Méd. Vét. Pays Trop.*, 29 : 367–380. <https://agritrop.cirad.fr/433257/1/ID433257.pdf>

Descouings B. (1961). Les savanes de la vallée de la Nyanga (République Gabonaise): phytosociologie et possibilités pastorales. Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-mer, Institut d'Etudes Centre-africaines, Laboratoire

de botanique: Brazzaville, Congo, 41p

Dwinger R., Agyemang K., Snow W., Rawlings P., Leperre P. and Bah M. (1994). Productivity of trypanotolerant cattle kept under traditional management conditions in the Gambia. *Vet. Q.*, 16 : 81–86.

FAO (2024). FAO au Gabon : Le pays en un coup d'œil. <https://www.fao.org/gabon/fao-au-gabon/le-pays-en-un-coup-doeil/fr/>

Groupe Banque Mondiale (2024). Agriculture, valeur ajoutée (% du PIB) - Sub-Saharan Africa, Gabon : Données des comptes nationaux de la Banque mondiale et fichiers de données des comptes nationaux de l'OCDE. <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/NV.AGR.TOTL.ZS?end=2022&locations=ZG-GA&start=1960&view=chart>

de Hertog G. (2016). La production de viande bovine. Fondation Agromisa et CTA: Wageningen, Hollande, 102p

Joshi N., McLaughlin E. and Phillips R. (1957). Les bovins d'Afrique types and races. FAO, Rome, Italie, 317p

Kamba Waladjo A. (2003). Performances zootechniques des N'dama et des produits de l'insémination artificielle bovine en république de Guinée. Mémoire DEA, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal, 30p <https://beep.ird.fr/collect/eismv/index/assoc/MEM03-12.dir/MEM03-12.pdf>

Khang'mate A., Lahlou-Kassi A., Bakana B. and Kahungu M. (2000). Performances de reproduction des bovins N'Dama dans le diocèse d'Idiofa au Congo. *Rcv. Elev. Méd. Vét. Pays Trop.*, 151 : 511–516.

Kim J., Hanotte O., Mwai O. A., Dessie T., Bashir S., Diallo B., Agaba M., Kim K., Kwak W., Sung S. and others (2017). The genome landscape of indigenous African cattle. *Genome Biol.*, 18 : 1–14.

Lhoste P. (1977). L'amélioration génétique des zébus de l'Adamaoua (Cameroun) pour la production de la viande. Premier Colloque International: Recherches sur l'élevage bovin en zone tropicale humide, Bouaké, Côte d'Ivoire, 18-22 avril 1977, 769p

Lhoste P. (2001). L'étude et le diagnostic des systèmes d'élevage. Atelier de Formation des agronomes SCV Madagascar, 13-23 mars 2001, 32p http://open-library.cirad.fr/files/2/485_984956439.pdf.

Mfopit M., Messine O. and Dandjouma Aboubakar A. (2015). Mortalities and reproductive performances of gudali cattle at the wakwa regional centre of agricultural research, Cameroon (1998-2008). *Int. J. Curr. Adv. Res.* 4 : 200–203.

Pourtier R. (1984). Agro-industrie et développement rural au Gabon: une contradiction? *Paysages Espac. Ruraux Systèmes Agraires Maghreb-Afr. Noire-Mélanésie*, 447p <https://core.ac.uk/download/pdf/39873524.pdf#page=453>

R Development Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R-project. <http://www.R-project.org>

Sokouri D., Yapi-Gnaore C., N'guetta A., Loukou N., Kouao

B., Toure G., Kouassi A. and Sangare A. (2010). Performances de reproduction des races bovines locales de Côte d'Ivoire. *J Appl Biosci* 36 : 2353–2359.

Tuah A. and Danso Y. N. (1985). Preliminary studies on the performance and productivity indices of N'Dama and West African Shorthorn cattle in Ghana. *Trop. Anim. Health Prod.*,

17 : 114–120.

Youssao A., Ahissou A. and Toure Z. (2000). Introduction de la race bovine N'Dama à la Ferme Elevage de l'Okpara au Bénin. Quelques performances zootechniques. *Anim. Genet. Resour. Génétiques Anim. Genéticos Anim.*, 27 : 17–25. <https://www.fao.org/3/x7694t/x7694t.pdf#page=24>

Etude du déterminisme génétique de la couleur du tégument des graines du niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]

Guy Roland Anzara¹, Moroh Joseph Akaza¹, et Kouakou Georges Abessika Yao¹

Résumé

Le niébé représente l'une des plus importantes cultures de légumineuses à graines d'Afrique subsaharienne. Une grande variabilité génétique existe chez le niébé pour les caractères quantitatifs et qualitatifs parmi lesquels la couleur du tégument des graines revêt parfois un intérêt particulier dans les habitudes alimentaires et socioculturelles des populations. Cependant, le déterminisme de la transmission de la couleur des graines est mal connu chez le niébé. Une caractérisation agro-morphologique et des croisements directs et réciproques ont été réalisés entre les cultivars les plus répandus en Côte d'Ivoire notamment ceux à graines rouges et à graines blanches. Ces croisements entre les deux cultivars ont permis de constater que les plantes F1 obtenues ont eu des graines ayant le même phénotype que le parent mâle. Le rapport phénotypique de 12 : 3 : 1 obtenu en F2 correspond à une épistasie avec deux gènes régissant la couleur du tégument de la graine. Le cultivar à graines rouges a été identifié comme précoce et celui à graines blanches comme la plus productive. La caractérisation des populations en ségrégation F2 obtenue permettra d'identifier et de sélectionner les individus ayant les caractéristiques agronomiques intéressantes.

Mots clés : Niébé, Couleur du tégument, Déterminisme génétique, Epistasie

Abstract

Study of inheritance of seed coat color in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.].

Cowpea represents the most important grain legume crop in sub-Saharan Africa. Significant genetic variability exists in cowpea for quantitative and qualitative characteristics, among which the color of the seed coat is sometimes of particular interest in the dietary and sociocultural habits of populations. However, the determinism of seed color transmission is poorly understood in cowpea. An agromorphological characterization Direct and reciprocal crosses have been made between red-seeded and white-seeded cultivars. These crosses between these two cultivars showed that the F1 plants obtained had seeds with the same phenotype as the male parent. The phenotypic ratio of 12:3:1 obtained in F2 corresponds to epistasis with two genes governing the color of the seed coat. The cultivar with red seeds was identified as early and the one with white seeds as the most productive. The characterization of the F2 segregated populations obtained will make it possible to identify and select individuals with interesting agronomic characteristics.

Keywords: Cowpea, Seed coat color, Inheritance, Epistasis

¹Laboratoire d'amélioration De La Production Agricole, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire

Auteur correspondant ; email : guyanzara@yahoo.fr
Contact : [2250707191115](tel:2250707191115)

Introduction

Le niébé est un aliment de base très prisé en Afrique tropicale pour ses différents organes notamment les feuilles, les gousses vertes et les graines sèches (Isra *et al.*, 2005). En effet, les feuilles et les graines du niébé ont une grande valeur nutritionnelle (Stoilova et Pereira, 2013). Dans certains pays tropicaux, le niébé fournit plus de la moitié des protéines consommées et joue un rôle clé dans l'alimentation (Pasquet et Baudoin, 1997). Il pourrait donc constituer un véritable bouclier contre la malnutrition et la dépendance vis-à-vis de certains produits comme le riz, le maïs et le blé dans la majorité des pays de l'Afrique subsaharienne où l'atteinte de l'autosuffisance alimentaire demeure une préoccupation importante. Aussi, les fanes du niébé riches en protéines, constituent un fourrage de qualité pour le bétail. Elles constituent une ressource énorme en période de la saison sèche car les paysans qui récoltent et stockent le fourrage de niébé pour la vente durant cette saison, augmentent leurs revenus de 25 % (Dugje *et al.*, 2009). Sur le plan agronomique, le niébé exerce une influence favorable sur la fertilité des sols grâce à sa capacité de fixation symbiotique de l'azote atmosphérique avec les souches de rhizobium (Sanginga *et al.*, 2003). Vu son importance socio-économique, le niébé est cultivé dans presque toutes les régions tropicales.

Il existe chez le niébé, une variabilité génétique assez importante à partir des données quantitatives et moléculaires (Nadjiam *et al.*, 2015 ; Agbahoungba *et al.*, 2021). Des études de caractérisation morphologique basées sur les paramètres qualitatifs ont également fait l'objet de plusieurs publications sur le niébé notamment au niveau de la tolérance aux insectes (Oluwafemi *et al.*, 2019), la texture des graines (Lalsaga *et al.*, 2017) et le type de port de la tige (Anzara *et al.*, 2023). Les caractères qualitatifs sont pourtant des indicateurs visuels de la variabilité génétique. De tous ces paramètres, la couleur du tégument des graines permet de différencier facilement les cultivars du niébé. En effet, la couleur est importante selon l'application industrielle, puisque toute pigmentation aurait un impact sur le produit final et donc son acceptation pourrait être affectée (Hamid *et al.*, 2015). Dans le Nord de la Côte d'Ivoire, 16 types de couleur ont été identifiés chez le niébé (Assouman *et al.*, 2021). Suivant les couleurs, les préférences des consommateurs sont aussi très variées selon les régions. Ainsi, les cultivars à graines de couleur blanche sont plus appréciés par les consommateurs au Burkina Faso (Batieno, 2015). Au Nigeria, l'enquête variétale effectuée par Stanton (1962) a montré que les cultivars à graines rouges sont plus appréciés au Centre du Nigeria par rapport à ceux à graines blanches fortement recommandées au Nord. En Côte d'Ivoire, les cultivars à graines blanche et rouge sont les plus

consommées (Bio, 2002), et représentent environ 70% au Nord de la Côte d'Ivoire (Assouman *et al.*, 2021).

Cependant, le déterminisme de la transmission de la couleur est controversé chez le niébé. En effet, certains auteurs comme Egbadzor *et al.* (2014) et Ajayi *et al.* (2020) ont cependant conclu à la suite de leurs travaux que la couleur du tégument chez le niébé est un caractère polygénique. D'autres par contre, ont suggéré que la couleur du tégument est contrôlé par un seul gène (Mau *et al.*, 2023). Dès lors, la maîtrise du mode de transmission de ce caractère apparaît comme une nécessité pour la conception de schémas d'amélioration variétale du niébé. C'est dans ce contexte que se situe ce travail qui vise dans un premier temps à évaluer les paramètres agro-morphologiques des cultivars à graines rouges et blanches et ensuite à déterminer l'hérédité de la couleur des téguments des graines du niébé en vue de faciliter la sélection de variétés précoces et productives recherchées par les producteurs.

1. Matériel et méthode

1-1. Site d'étude

L'étude a été effectuée sur une parcelle expérimentale dans l'enceinte de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa. Le département de Daloa est situé dans la région du haut Sassandra au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire entre 6° et 7° de latitude Nord et 7° et 8° de longitude Ouest (Figure 1). Le climat de la région est de type tropical humide avec deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches. La pluviométrie annuelle oscille entre 1200 et 1600 mm. Les sols sont majoritairement ferrallitiques (Koffie-Bikpo *et al.*, 2013). La région est majoritairement couverte de forêt semi-décidue et de savanes herbeuses et arbustives.

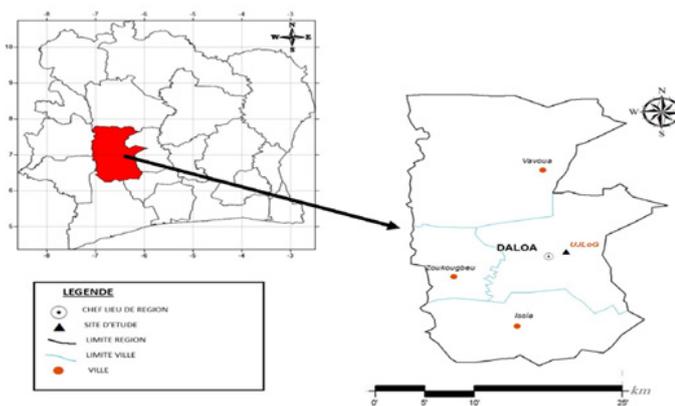


Figure 1. Présentation de la zone d'étude (source, Akaza *et al.*, 2022)

1-2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé était constitué de graines de niébé composées de huit accessions à graines blanches et de huit accessions à graines rouges pour l'évaluation agromorphologique. Ces accessions originaires du nord, de l'ouest et de l'est de la Côte d'Ivoire sont issues de la banque de semences de la collection de l'Université Jean Lorougnon Guédé (Tableau 1). Pour la suite, deux accessions parentales quasi-isogéniques (avec trois séries d'autofécondation successive), NDB (graines blanches) et NDR (graines rouges) ont été utilisées pour le déterminisme génétique (Figure 2).

Tableau 1. Quelques caractéristiques des différentes accessions utilisées pour l'étude

N°	Accessions	Localités	Zones	Couleur des graines
01	NKB	Korhogo	Nord	Blanc
02	NKR	Korhogo	Nord	Rouge
03	NTR	Tafiré	Nord	Rouge
04	NTB	Tafiré	Nord	Blanc
05	NGR	Guiglo	Ouest	Rouge
06	NGB	Guiglo	Ouest	Blanc
07	NBB	Bonon	Ouest	Blanc
08	NBR	Bonon	Ouest	Rouge
09	NDR	Daloa	Ouest	Rouge
10	NZR	Zuenoula	Ouest	Rouge
11	NZB	Zuenoula	Ouest	Blanc
12	NMB	Man	Ouest	Blanc
13	NMR	Man	Ouest	Rouge
14	NDB	Daloa	Ouest	Blanc
15	NAB	Abengourou	Est	Blanc
16	NAR	Abengourou	Est	Rouge



Figure 2. Cultivar à graines blanches (a) et à graines rouges (b)

1.3. Dispositif expérimental

L'essai pour l'évaluation des paramètres morphologiques et agronomiques des 16 accessions a été réalisé sur une parcelle de 675 m² (45 m x 15 m). Pour chacune des accessions, un dispositif complètement randomisé avec cinq répétitions a été réalisé. Ce qui fait 80 points de semis sur l'ensemble de la parcelle. Le semis a eu lieu en septembre 2020 sur l'ensemble de la parcelle. Deux graines ont été semées par poquet. Deux semaines après semis, le démariage a été fait afin de ne laisser qu'un plant par poquet. Les points de semis ont été distants les uns des autres de 3 m sur une même rangée et entre les rangées avec 4 m de bordure (Anzara *et al.*, 2023). Tous les travaux ont été réalisés sans fertilisation. Des traitements insecticides au Cypercal 50 EC (cyperméthrine 50g/l) ont été réalisés trois semaines après semis pour lutter contre les insectes ravageurs (Kouamé *et al.*, 2020). Un désherbage régulier a été également effectué pour éliminer les mauvaises herbes.

1.4. Variables mesurées

Les mesures ont été effectuées sur chaque plante. Pour l'évaluation morphologique et agronomique des 16 accessions, six paramètres ont été mesurés notamment la Durée de Maturité des gousses (DuMa), la Longueur de la Plante (LoPl), le Nombre de Gousses par Plante (NGoP), le Poids des Gousses (PoGo) et des Graines (PoGr), le Nombre des Graines par Plante (NoGr) (Tableau 2).

Tableau 2. Méthodes de mesures des différents paramètres du niébé

Variables mesurées chez les deux cultivars	Méthodes de mesures
Durée de la maturité des Gousses (DuMa)	Le temps mis depuis la date de semis jusqu'à la maturation du premier fruit
Longueur de la plante (LoPl)	La longueur de la plante a été prise en mesurant la tige principale de chacune des plantes à l'aide du mètre-ruban
Nombre de gousse par plante (NGoP)	Le nombre de gousse est déterminé en comptant l'ensemble des fruits matures d'une plante dès que le couvert végétal se dessèche.
Poids des gousses (PoGo)	C'est le poids des gousses séchées et déterminé à l'aide de la balance Roberval.
Nombre de graines (NoGr)	le nombre total de graines est déterminé en comptant l'ensemble des graines issues d'une gousse.
Poids des graines (PoGr)	Il s'agit du poids sec de gousses par plante à l'aide de la balance Roberval

1.5. Méthode d'obtention des F1 et F2

Deux accessions parentales, NDB (cultivar à tégument blanc) et NDR (cultivar à tégument rouge) constituées de 25 individus chacune ont été utilisées pour le déterminisme génétique. Les deux accessions ont été choisies de façon aléatoire parmi les 16 accessions. Le croisement entre ces deux accessions, à travers la pollinisation manuelle telle que décrite par Lalsaga et al. (2017) a été effectué dans les deux sens. Ceci a permis d'obtenir 50 individus en F1. Une autofécondation des individus de la F1 a donné (dont deux fruits par individu) la population en ségrégation F2 composée de 100 individus. La détermination de la couleur des téguments des graines des différentes populations a été également effectuée.

1.6. Analyse statistique des données

Pour l'évaluation agro-morphologique, les données ont été statistiquement analysées en utilisant le logiciel Statistica version 7.1 (StatSoft, 2005). L'Analyse de Variance (ANOVA) a été effectuée pour comparer les moyennes des 16 accessions. Lorsqu'une différence significative est révélée entre les accessions pour un paramètre donné, l'ANOVA est complétée par le test de la plus petite différence significative (ppds).

La comparaison des deux cultivars (cultivar à graines blanches et cultivar à graines rouges) a été également réalisée en utilisant le test t de Student.

Le déterminisme génétique a été évalué en appliquant la méthode du test de khi-carré (χ^2) telle que décrite par Bezawada et al. (2003) et Lalsaga et al. (2017). Les ségrégations obtenues en F2 ont été soumises au test χ^2 sous deux hypothèses :

Hypothèse HO: la population présente un rapport rouge/blanc 12 :3 :1

Hypothèse HA: la population présente un rapport rouge/blanc différent de 12 :3 :1

KHI 2 (χ^2) observé se calcule par la formule suivante :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

k = le nombre de catégories dans la variable nominale

O_i = les fréquences observées dans chaque catégorie

E_i = les fréquences attendues dans chaque catégorie selon l'hypothèse H0

Les fréquences observées sont les fréquences obtenues par l'expérimentateur. Les fréquences attendues sont les fréquences

auxquelles on s'attendrait si l'hypothèse Ho est vraie. Le rejet de l'hypothèse nulle intervenait quand le khi-carré calculé a été plus grand que le khi carré théorique.

2. Résultats

2.1. Comparaison des deux cultivars en fonction des paramètres agro-morphologiques

Le cultivar à graines blanches a été comparé à celui à graines rouges et le test t de Student a montré une différence significative pour les paramètres à l'exception du nombre de gousses (NGoP) et du nombre de graines par plante (NoGr) (tableau 3). La durée de maturité des gousses (DuMa) pour le cultivar à graines blanches (86,53± 6,93) a été plus longue que celui à graines rouges (67,00±5,13). Les gousses des accessions à graines rouges ont donc atteint plus vite la maturité. En revanche, la longueur des plantes (LoPl) a été également plus grande chez le cultivar à graines blanches. En ce qui concerne les variables mesurées sur les gousses et sur des graines, le poids des gousses (PoGo) et des graines (PoGr) ont été aussi plus élevés chez le cultivar à graines blanches.

Tableau 3. Comparaison des cultivars à graines blanches et rouges en fonction des paramètres agro-morphologiques

Cultivars	DuMa	LoPl	NGoP	PoGo	NoGr	PoGr
graines blanches	86,53± 6,93	53,93±8,85	10,80±1,65	9,56±1,76	73,06±9,67	7,95±1,40
graines rouges	67,00±5,13	42,12±8,03	10,00±2,12	6,45±1,92	69,72±7,90	5,25±1,76
F	4,00	0,94	0,42	0,21	0,20	1,01
T	<0,001	<0,001	0,19	<0,001	0,19	<0,001

DuMa : Durée de maturité de la gousse ; LoPl : Longueur de la plante ; NGoP : Nombre de gousse par plante ; PoGo : Poids de la gousse ; NoGr : Nombre de graines ; PoGr : Poids des graines

2.2. Comparaison des différentes accessions en fonction des paramètres agro-morphologiques

Les données statistiques des 16 accessions ont montré une différence significative pour tous les paramètres mesurés (tableau 4). La durée de maturité des huit accessions constituées de graines à téguments rouges était statistiquement inférieure à celles à téguments blancs à l'exception de l'accession NKB. Cela confirme la maturité précoce des accessions à graines rouges. La longueur des plantes a été plus élevée pour l'accession à graines blanches NGB (85,20±4,76). La moyenne de la longueur des plantes des autres accessions est plus ou moins identique quel que soit la couleur des téguments. Ce constat a été également vérifié au niveau des trois autres paramètres (NoGp, NoGr et PoGr). Cependant, l'accession à graines blanches NDB s'est distinguée des autres accessions pour son poids élevé de graines (10,74±1,07) et un nombre plus réduit de gousses (5,20±0,83).

Tableau 4. Comparaison des différentes accessions en fonction des paramètres agro-morphologiques

Accessions	DuMa	LoPl	NGoP	NoGr	PoGr
NGR	67,200±2,77 ^a	48,00±4,74 ^a	7,00±2,44 ^a	50,40±5,59 ^a	6,57±1,15 ^{bcd}
NTR	67,00±5,95 ^a	40,600±7,73 ^a	10,40±1,51 ^c	68,80±5,80 ^b	7,75±1,27 ^{def}
NMR	65,00±4,89 ^a	40,400±9,86 ^a	11,00±1,14 ^c	71,80±8,34 ^b	4,69±0,46 ^{abc}
NBR	69,400±7,30 ^a	36,600±7,36 ^a	10,60±2,30 ^c	64,20±11,98 ^b	2,89±0,78 ^a
NKR	64,00±1,14 ^a	41,600±8,59 ^a	11,00±2,36 ^c	72,00±13,85 ^b	4,63±1,30 ^{abc}
NZR	66,400±4,03 ^a	45,00±9,57 ^a	10,20±1,92 ^c	72,400±7,82 ^b	6,52±2,48 ^b
NAR	67,400±7,76 ^a	67,400±7,76 ^b	8,80±0,83 ^b	72,400±4,34 ^b	4,78±0,84 ^{abc}
NDR	69,00±5,83 ^a	69,00±5,83 ^b	10,40±1,14 ^c	51,00±5,78 ^a	6,48±1,21 ^{bcd}
NAB	83,200±7,01 ^b	51,80±18,17 ^b	10,20±0,83 ^c	72,40±4,39 ^b	4,23±0,61 ^{ab}
NKB	64,00±1,14 ^a	42,60±7,98 ^a	11,00±2,00 ^c	64,80±2,38 ^b	7,14±1,34 ^{cde}
NBB	86,80±4,96 ^b	45,80±1,18 ^a	10,60±0,83 ^c	67,80±9,54 ^b	7,74±2,6 ^{def}
NMB	85,600±8,59 ^b	43,40±13,24 ^a	11,20±1,78 ^c	66,40±4,72 ^b	7,90±1,81 ^{def}
NZB	91,00±8,21 ^b	41,20±10,18 ^a	10,00±1,22 ^c	71,00±9,53 ^b	5,80±1,92 ^{bcd}
NTB	91,60±2,70 ^b	48,80±2,58 ^a	10,00±1,30 ^c	76,00±8,34 ^b	8,80±0,31 ^{efg}
NDB	83,299±5,16 ^b	67,80±16,55 ^b	5,20±0,83 ^a	51,60±5,78 ^a	10,74±1,07 ^f
NGB	90,00±5,91 ^b	85,20±4,76 ^c	9,80±0,83 ^c	50,40±5,59 ^a	9,91±1,73 ^{fg}
F	16,25	6,53	5,50	4,65	13,40
P	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

DuMa : Date de maturité de la gousse ; LoPl : Longueur de la plante ; NGoP : Nombre de gousse par plante ; NoGr : Nombre de graines ; PoGr : Poids des graines

2.3. Analyse des croisements directs et réciproques des deux accessions NDB et NDR

Le croisement direct et réciproque a été réalisé entre les accessions parentales dont l'une à graines blanches, NDB et l'autre à graines rouges, NDR. Lorsque le croisement a impliqué le parent à graines rouges comme mâle et celui à graines blanches comme parent femelle, toutes les plantes F1 ont produit des grains rouges. A l'inverse, lorsque le parent à graines blanches est considéré comme parent mâle, toutes les graines F1 sont blanches (Figure 2). Les graines F1 ont donc le même phénotype que le parent mâle. La F1 étant homogène, ceci indique clairement que les parents croisés sont génétiquement purs.



Figure 2. Héritabilité de la couleur du tégument des graines chez les parents (A et B) et F1 hybrides (Ax B et BxA) de niébé.

2.4. Données phénotypiques et taux de ségrégation

Le croisement entre NDR (parent mâle à graines rouges) et NDB (parent femelle à graines blanches) a donné des plantes à graines homogènes toutes rouges en F1 dont la ségrégation en F2 a donné 79 plantes à graines rouges, 16 plantes à graines blanches et 5 plantes à graines noires, soit un rapport de ségrégation rouge/blanc de 12 : 3 : 1.

Le croisement réciproque entre NDB (parent mâle à graines blanches) et NDR (parent femelle à graines rouges) a donné également des plantes à graines homogènes toutes blanches en F1 dont la ségrégation en F2 a donné 69 plantes à graines rouges, 22 plantes à graines blanches et 9 plantes à graines noires. Le rapport de ségrégation rouge/blanc obtenu en F2 était aussi de 12 : 3 : 1. (Tableau 5)

Tableau 5. Ségrégation de la couleur du tégument des graines en F2 des croisements (rouge x blanc) ou (blanc x rouge).

Génération	Nombre de lignée	Fréquences observées			Fréquences attendues			Totale Fréquence observée	Ratio	χ^2_{cal}	χ^2_{theo}	Ho
		rouge	blanc	noir	rouge	Blanc	noir					
P1 : NDR (rouge)	25	25	00	00	rouge	Blanc	noir	25	-	-	-	-
P2 : NDB (blanc)	25	00	25	00	-	-	-	25	-	-	-	-
F1 : NDR-NDB	25	25	00	00	-	-	-	25	-	-	-	-
RF1 : NDB-NDR	25	00	25	00	-	-	-	25	-	-	-	-
F2 (croisement direct)	100	79	16	05	75	18,75	6,25	100	12-3-1	0,86	5,99	Accepté
F2 (croisement indirect)	100	69	22	09	75	18,75	6,25	100	12-3-1	2,25	5,99	Accepté

Discussion

Le présent travail a été effectué pour évaluer la performance agronomique des cultivars à graines rouges et à graines blanches et aussi dans le but de maîtriser le mode de transmission de la couleur du tégument des graines du niébé.

Le cultivar à graines blanches a été la plus productive en termes de poids des gousses et des graines. Ce type de cultivar s'avère très intéressant du point de vue agronomique. En effet, ce qui intéresse avant tout le producteur, c'est d'obtenir des fruits de poids élevés. Cependant, le temps de maturité du cultivar à graines blanches a été plus long (86

jours après semis) que celui à graines rouges (67 jours après semis). Le cultivar à graines rouges pourrait être considéré comme précoce et le cultivar à graines blanches, tardif. La précocité de plantes cultivées est également recherchée pour la réduction du cycle de reproduction. Des variétés précoces du niébé ont été également sélectionnées au Burkina, 63 jours après semis (Coulibaly *et al.*, 2020) et en Côte d'Ivoire, 56 jours après semis (Ayolié *et al.*, 2016). La recherche des variétés précoces est nécessaire pour les agriculteurs afin d'adapter la culture des génotypes à maturité précoce à la courte saison des pluies et pour contribuer à faire face aux phénomènes de changement climatique (Doubmbia *et al.*, 2013). Ainsi, le croisement entre le cultivar à graines rouges et le cultivar à graines blanches dans le but d'avoir des hybrides qui comportent à la fois des plantes précoces et de fortes performances agronomiques est indispensable.

Les croisements directs et réciproques réalisés entre les deux cultivars ont permis de constater que chez les plantes F1 obtenues, la couleur des téguments des graines a été identique à celle du parent mâle. Les individus F1 ont eu le même phénotype que le parent mâle quel que soit le sens du croisement. Les résultats indiquent l'absence de facteurs maternels ou cytoplasmiques dans le contrôle de ce caractère. Ces résultats ne concordent pas avec le modèle dans lequel l'effet maternel est responsable de la transmission de la couleur des téguments des graines observées chez F1 (Drabo *et al.*, 1988, Castro *et al.*, 2013 ; Oluwafemi *et al.*, 2019).

Les résultats observés en F2 pour la coloration des téguments des graines ont montré qu'en plus de la couleur rouge et blanche des téguments des graines, l'existence d'une autre couleur noire dans la population. La présence de la couleur noire dans la population de graines F2 témoigne que la couleur des téguments des graines pourrait être contrôlée par plus d'un gène. Le rapport phénotypique 12 : 3 : 1 correspond à une épistasie dominante et dans ce cas l'allèle dominant est responsable d'un certain phénotype quel que soit l'allèle présent à l'autre locus. Les interactions épistatiques des gènes responsables de la couleur du tégument des graines du niébé ont également été signalées (Kongjaimun *et al.*, 2012 ; Egbadzor *et al.*, 2014) confirmant ainsi le caractère polygénique du déterminisme génétique de la coloration du tégument chez le niébé. Cependant, des classes phénotypiques présentant des couleurs intermédiaires des parents n'ont pas été observées dans la population F2. Il a été révélé que la couleur des téguments des graines est fonction de la composition des pigments contenus dans les plantes (Zhao *et al.*, 2022). Aussi, la combinaison de plusieurs pigments pourrait produire différentes couleurs des téguments. Le mécanisme de la coloration des téguments du niébé pourrait donc être évalué dans les études futures.

Conclusion

Une bonne connaissance de l'hérédité de la coloration des téguments des graines peut ouvrir une voie plus pratique à l'amélioration du niébé. L'étude du déterminisme génétique de la couleur du tégument des graines du niébé a permis de constater que les plantes F1 obtenues lors du croisement entre cultivars à graines blanches et graines rouges ont eu

des graines ayant le même phénotype que le parent mâle. Le rapport phénotypique de 12 : 3 : 1 obtenu en F2 indique une épistasie dominante et il est suggéré que l'hérédité de la couleur du tégument du niébé est occasionnée par deux gènes. Différents croisements biparentaux doivent être envisagés pour couvrir la panoplie d'hypothèses envisageables pour élucider complètement l'hérédité de la coloration du tégument chez le niébé.

Références

- Agbahoungba S., Adoukonou-Sagbadja H., Agoyi E.E., Houinde P.J., Adandonon A., Assogbadjo E.A. and B. Sinsin B. (2021). Analyse moléculaire de la diversité génétique de 50 accessions de niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp) grâce aux marqueurs microsatellites. African Journal of Rural Development, 6 (2), 1-18.
- Ajayi A.T., Gbadamosi A.E., Olotuah O.F., and Adewale E.D. (2020). Crossability and inheritance of seed coat colour in cowpea at F1 generation. Frontiers in Life Sciences and Related Technologies, 1(2), 58-62.
- Akaza M. J., Goré B. B. N., Anzara G. K. G. R. et Siniyobo I. (2022). Evaluation de la diversité phénologique et morphologique de neuf variétés de piment (*Capsicum spp.*) cultivées dans la région du Haut-Sassandra (Côte d'Ivoire). European Scientific Journal, 18 (3), 278-295 Doi:10.19044/esj.2022.v18n03p278
- Anzara G.R., Yao K.G.A., Gbotto A.A. et Akaffou D.S. (2023). Evaluation Agro-morphologique des Différents Types de Port du Niébé (Fabaceae : *Vigna unguiculata* L. Walp) dans le Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. European Scientific Journal, 19 (15), 176-188. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n15p176>
- Assouman J.S.K., Diarrassouba N., Yao S.D.M. and Ossey A.R. (2021). Morpho-phenological Variability of Flowers Traits and Hybridization of Five Inbred Lines of Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] in Côte d'Ivoire. Annual Research & Review in Biology, 36 (11), 36-46. DOI: 10.9734/arrb/2021/v36i1130449
- Assouman J. S. K., Diarrassouba N. and Yao S.D.M. (2021). Preliminary study on morphological diversity of cowpea accessions [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] collected in the North of Côte d'Ivoire. International Journal of Current Research in Biosciences. 8(9), 1-12. <https://doi.org/10.20546/ijcrbp.2021.809.001>
- Ayolié K., Gogbeu S. J., Tonessia D. C., Kouassi N. J., Obo A. C. X., Yapo S. S and Yatty K. J. (2016). Étude de la qualité agronomique de quelques écotypes de niébé [*Vigna unguiculata* (L.) walp. (Fabaceae)] collectés en Côte d'Ivoire. Afrique SCIENCE, 12(5), 78 – 8.
- Batieno T. B. J. (2015). Genetic analysis of drought tolerance in cowpea. Ph.D. Dissertation. Univ.of Ghana Legon, 131 pages.
- Bezawada C., Saha S., Johnie N., Roy G. and McCarty J. (2003). SSR Marker(s) associated with root knot nematode resistance gene(s) in cotton. The Journal of Cotton Science, 7, 179-184.
- Bio G. S. (2002). Le marché du niébé dans les pays du Golfe de Guinée (Côte-d'Ivoire, Ghana, Togo, Bénin et Nigeria). Laboratoire d'Analyse Régionale et d'Expertise Sociale. 31 pages. http://www.hubrural.org/IMG/pdf/pays_golfe_guinee_e_marche_niebe.pdf
- Coulibaly Z., Barro A., Tignégré J. B., Kiebré Z., Batiéno B. J., Dieni Z., and Nanama J. (2020). Évaluation des performances agronomiques de douze (12) variétés de niébé vert [*Vigna unguiculata* (L.) walp.] au Burkina Faso. Journal of Applied Biosciences 153: 15745 – 15755.
- De Castro M. J. P., Baldin E. L. L., Criz P. L., de Souza C. M., and de Silva P. H. S. (2013). Characterization of cowpea genotype resistance to *Callosobruchus maculatus*. Pesquisa Agropecuária Brasília, 48 (9), 1201-1209.
- Drabo I., Ladeinde T. A. O., Smithson J. B., and Redden R. (1988). Inheritance of eye pattern and seed coat colour in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Plant breeding, 100 (2), 119-123
- Doumbia I. Z., Akromah R., and Asibuo J. Y. (2013). Comparative study of cowpea germplasms diversity from Ghana and Mali using morphological characteristics. Journal of Plant Breeding and Genetics, 01 (03), 139-147.
- Dugje I.Y., Omoigui L. O., Ekeleme F, Kamara A.Y., and Ajeigbe H. (2009). Production du niébé en Afrique de l'Ouest : Guide du paysan. Institut international d'agriculture tropicale, Ibadan, Nigeria, 26 pages.
- Egbadzor K. F., Yeboah M., Gamedoagbao D. K., Offei S. K., Danquah E.Y., and Ofori K. (2014). Inheritance of Seed Coat Colour in Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). International Journal of Plant Breeding and Genetics, 8 (1), 35-43. Doi: 10.3923/ijpb.2014.35.43
- Hamid S., Muzzafar I. A., Wani. and Masoodi F. A. (2015). Physicochemical and functional properties of two cowpea cultivars grown in temperate Indian climate. Cogent Food & Agriculture, 1(1), 1-11. <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1099418>
- ISRA., ITA et CIRAD (2005). Bilan de la recherche agricole et agroalimentaire au Sénégal. Institut sénégalais de recherches agricoles, 522 pages.
- Koffie-bikpo C.Y. and Kra K. S. (2013). La région du haut-Sassandra dans la distribution des produits vivriers agricoles en Côte d'Ivoire. Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement, 2, 95 – 103.
- Kouamé N., Kouassi N. J., Ayolie K., Yao Kouassi B., and Yatty K. J. (2020). Influence de l'association culturale sur la capacité de nodulation de trois espèces de légumineuses : Arachide, Niébé et Soja vert. Journal of Applied Biosciences, 145: 14930-14937. <https://doi.org/10.35759/JABs.145.8>
- Kongjaimun A., Kaga A., Tomooka, N., Somta, P., Vaughan, D. A. and Srinives P. (2012). The genetics of domestication of yardlong bean, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. ssp. unguiculata cv.- gr. sesquipedalis. Annals of Botany, 109 (6), 1185-1200.
- Lalsaga W.J.A., Sawadogo N., Kiebre M. and Sawadogo M. (2017). Étude du déterminisme génétique de la texture des graines du niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. Journal of Applied Biosciences, 114, 309-11316

- Mau Y.S., Antonius S., Ndiwa S., Bunga W., Abidin Z., Titik S., Harini, Shirly H., Oematan S., Roefaida E., Taloim, Gadji A., Risnawati M., and Rigobertus A. N. (2023). Inheritance of seed coat color and heritability of agronomic characters of F2 population of reciprocal crosses between Fore Belu and Local Sabu mungbean varieties. *BIODIVERSITAS*, 24 (5), 2647-2656. DOI: 10.13057/biodiv/d240517
- Nadjiam D., Doyam A.D., Bedingam D. (2015). Etude de la variabilité agro-morphologique de quarante-cinq cultivars locaux de niébé (*Vigna unguiculata*, (L.)Walp.) de la zone soudanaïenne du Tchad. *Afrique SCIENCE*, 11 (3), 138 – 151
- Pasquet R. et Baudoin J.P. (1997). Le niébé. In: Charrier A. (ed.), Jacquot M. (ed.), Hamon S. (ED.), Nicolas D. (ed.). *L'amélioration des plantes tropicales*. Montpellier (FRA) ; Paris : CIRAD ; ORSTOM, p. 483-505. (Repères). ISBN 2-87614-292-9. ISSN 1251-7224.
- Sanginga N., Dashiell K.E., Diels J., Vanlauwe B., Lyasse O., Carsky R.J., Tarawali S., Asafo-Adjei B., Menkir A., Schulz S., Singh B.B., Chikoye D., Keatinge D. and Ortiz R. (2003). Sustainable resource management coupled to resilient germplasm to provide new intensive cereal-grain-legume-livestock systems in the dry savanna: Balanced Nutrient Management Systems for cropping systems in the tropics from concept to practice. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 100 [2-3]: 305-314.
- Stanton W. R. (1962). The analysis of the present distribution of varietal variation in: Maize sorghum and cowpea in Nigeria as an aid to the study of tribal movement. *The Journal of African History*, 3(2), 251-262.
- StatSoft (2005). *Statistica for windows*; version 7.1, statsoft Inc.,Tulsa.
- Stoilova T. and Pereira G. (2013). Assessment of the genetic diversity in a germplasm Collection of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) using morphological traits. *African Journal of Agricultural Research*, 8 (2), 208-215.
- Oluwafemi D. A., Ogunkanmi A.L., Adetumbi J.A., Solomon T., Akinyosoye and Oluwatoyin T.O. (2019). Morpho-genetic variability in F2 progeny cowpea genotypes tolerant to bruchid (*Callosobruchus maculatus*). *Journal of Agricultural Sciences*, 64 (1), 53-68. <https://doi.org/10.2298/JAS1901053A>
- Zhao P., Chu L., Wang K., Zhao B., Yisong L., Yang K. and Wan P. (2022). Analyses on the pigment composition of different seed coat colors in adzuki bean. *Food Science and Nutrition*, 10 (8), 2611–2619. doi: 10.1002/fsn3.2866

Influence de *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass. (Asteraceae), une adventice envahissante de la culture du maïs (*Zea mays* L.) en zone forestière (Adzopé) au Sud-Est de la Côte d'Ivoire

Ahia Christine Florence KPLA¹, Arnaud-Freddy YAPI², Awa TOURE³

Résumé

Porophyllum ruderale (Jacq.) Cass. est une adventice envahissante originaire d'Amérique Latine, qui s'est vite propagée dans toutes les formations végétales, au sud, à l'est et l'ouest, jusqu'au centre du pays. Un intérêt a été porté sur les conséquences de son abondance dans une culture, spécifiquement dans celle du maïs (*Zea mays* L.). Cette plante, à port ligneux herbacé, germe facilement et colonise rapidement les agrosystèmes ouverts. Cette étude a permis d'estimer les pertes de rendement dans la culture de maïs. Un test d'interférence a été réalisé en faisant varier l'abondance de *P. ruderale* (densité/m²) et maintenir constante celle du maïs. Des relevés des paramètres (hauteur, diamètres, nombre de feuilles) des individus de maïs ont été analysés par Xlstat 2014. La compétition entre *P. ruderale* et le maïs a engendré une perte de rendement de 50 % pour une densité de 5 à 10 individus de *P. ruderale*/m² et de 80 % pour plus de 30 individus/m². La densité élevée et/ou le recouvrement important de l'adventice réduit relativement la croissance de l'appareil végétatif et la productivité des grains du maïs. En effet, pendant la phase végétative du maïs en association avec *P. ruderale*, les valeurs des paramètres comme la production foliaire, le diamètre et la hauteur des chaumes baissent relativement. *P. ruderale* se présente nuisible pour la culture du maïs et pour réduire les pertes, deux sarclages au minimum sont recommandés dont le premier entre le 21^{ème} et 27^{ème} et le second entre 40^{ème} et 50^{ème} jour après le semis.

Mots clés : *Porophyllum ruderale*, *Zea mays*, baisse de productivité, désherbage, Côte d'Ivoire

Abstract

Influence of *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass (Asteraceae), an invasive weed of maize (*Zea mays* L.) in the forest zone (Adzopé) in South-Eastern Côte d'Ivoire

Porophyllum ruderale (Jacq.) Cass. is an invasive weed native to Latin America, which has spread rapidly to all plant formations in the south, east and west, as far as the centre of the country. Interest was shown in the consequences of its abundance in a crop, specifically maize (*Zea mays* L.). This plant, which has a woody herbaceous habit, germinates easily and quickly colonises open agrosystems. This study made it possible to estimate yield losses in the maize crop. An interference test was carried out by varying the abundance of *P. ruderale* (density/m²) and keeping that of the maize constant. The parameters (height, diameter, number of leaves) of the maize plants were analysed using Xlstat 2014. Competition between *P. ruderale* and maize resulted in a yield loss of 50 % for a density of 5 to 10 individuals of *P. ruderale*/m² and 80 % for more than 30 individuals/m². High weed density and/or high weed cover relatively reduce vegetative growth and grain productivity in maize. In fact, during the vegetative phase of maize in association with *P. ruderale*, the values of parameters such as leaf production, diameter and height of culms fall relatively. *P. ruderale* is a harmful weed for maize crops and to reduce losses, at least two weedings are recommended, the first between the 21st and 27th and the second between the 40th and 50th day after sowing.

Keywords : *Porophyllum ruderale*, *Zea mays*, reduced productivity, weed control, Côte d'Ivoire

¹ Laboratoire de Biologie Végétales et Sciences de la Terre, UFR Sciences et Technologies Université Alassane Ouattara, Bouaké, Côte d'Ivoire

² Laboratoire de Biologie Végétale, UFR Sciences Biologiques Université Péléforo Gon Coulibaly, Korhogo, Côte d'Ivoire

³ Laboratoire de Milieux Naturels et Conservation de la biodiversité, UFR Biosciences Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire
Auteur correspondant : Ahia Christine Florence KPLA tel. +225 0777272529 ; Email : Christinekpla@gmail.com / Christinekpla@uao.edu.ci

1. INTRODUCTION

Porophyllum ruderale (Jacq.) Cass. (Asteraceae), est une espèce adventice originaire du Sud-Est du Brésil (De Marinis *et al.*, 1980 ; Kissmam *et al.*, 1999) qui a envahi récemment les plantations forestières et les cultures en Côte d'Ivoire de 2010 à 2015 (Kpla *et al.*, 2018). Cette nouvelle espèce introduite de la flore ivoirienne (Dogba *et al.*, 2018), est très envahissante et compromet la productivité des espèces associées. A l'instar des cultures vivrières, la productivité de la maïsiculture connaît la même situation.

Les rendements moyens de production de maïs demeurent insuffisants et faibles (1,7 tonne/ha en Afrique de l'Ouest et 1,5 tonne/ha en Afrique de l'Est et 1,1 tonne/ha en Afrique australe) par rapport aux prévisionnels qui s'élèvent à 5 tonnes/ha (Smale *et al.*, 2011). Le maïs est l'une des principales céréales consommées par les populations locales et cultivées à l'échelle de la Côte d'Ivoire (Yao *et al.*, 2013). Hormis la

consommation humaine, il intervient dans l'alimentation des animaux avec plus de 56 % (bétail, volaille) selon OCDE/FAO (2018), dans les produits agro-industriels et pharmaceutiques (Cirad et Gret, 2002).

Bien que cette adventice soit néfaste à la productivité de maïs, à ce jour, aucune étude n'est consacrée à son potentiel de nuisibilité dans une culture. Les études analogues portent sur la compétition de *Striga sp.*, qui occasionne des pertes de rendement de 20 à 80 % dans la maïsiculture (Thalouarn et Fer, 1993).

Il est donc important d'identifier le seuil de nuisibilité des adventices en particulier les plus abondantes afin de permettre à l'agriculteur d'identifier la « période critique » de désherbage (Douti *et al.*, 1995). C'est le moment où la présence des mauvaises herbes cause une perte de rendement considérable à la culture (Caussanel, 1989). Cette période est fonction de la spéculation, des capacités biologiques et

de la densité ou l'abondance des adventices en présence (Le Bourgeois et Merlier, 1995). Caussanel (1989) a identifié un seuil de nuisibilité pour une densité de 11 pieds/m² de *Avena fatua* L. (la folle-avoine) (Poaceae), une adventice qui engendre des dommages en culture céréalière au monde. Boraud et Kouassi (2005) ont déterminé pour la mauvaise herbe *Cyperus rotundus* L. (Cyperaceae), un seuil de nuisibilité de 1200 plants/m² durant les quatre premiers mois d'une culture irriguée de canne à sucre. L'identification du seuil de nuisibilité et de la période critique de désherbage dans la maïsiculture serait un atout dans le contrôle des adventices pour l'agriculteur. Les travaux de Yapi (2017) et Kpla (2018) ont montré que *P. ruderalis* est envahissante dans la région de la Mé (Adzopé), zone forestière où la maïsiculture est très développée, souvent associée au manioc, en début de plantation.

Dans ce contexte, la meilleure connaissance des périodes adéquates de désherbage s'impose afin de préciser l'effet nuisible de *P. ruderalis* sur les principaux caractères agronomiques du maïs pendant la phase de croissance et de productivité.

2. MATERIEL ET METHODES

□ Site d'étude

L'essai a été conduit dans la zone d'Adzopé au sud-est de la Côte d'Ivoire (Figure 1), située entre 4°00' et 6° 06' de latitude Nord et 3°31' et 3°65' de longitude Ouest. La zone se caractérise par un climat de type tropical humide à régime bimodal. Il est marqué par deux saisons de pluies distinctes (mars-juillet et octobre-novembre) intercalées par deux autres sèches, de décembre à février et d'août à septembre. La température moyenne dans la région varie de 21 à 27 °C et la pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 1500 mm (Yapi, 2017). Cette zone présente un taux d'infestation de *P. ruderalis* très élevée avec un recouvrement du sol à plus de 80 % dans les agrosystèmes ouverts.



Figure 1 : Localisation de la zone d'étude sur la carte administrative de la Côte d'Ivoire (Cartographie de l'occupation du sol de la région de la Mé, projet REDD+LA ME, 2017)

□ Matériel

Le matériel biologique est constitué des plants de *P. ruderalis* et de *Zea mays* variété EV 8728-SR ou maïs jaune (Figure 2). La hauteur des individus s'élève entre 1 à environ 3 m avec 16 entre-nœuds. La floraison intervient entre 40 à 50 jours après le semis. La récolte des épis frais intervient entre le 60^{ème} et le 75^{ème} jour après semis et celle des épis secs, à partir du 90^{ème} jour. Le cycle de production varie de 100 à 120 jours pour un rendement moyen sec de 4,5 à 5 tonnes /ha.



Figure 2 : Un épi de maïs variété EV 8728-SR ou maïs jaune (Kpla, 2017)

P. ruderalis, herbe aromatique (Figure 3) se propage généralement par dispersion de ses graines (Milan et al., 2006), s'adaptant à différents types de sols (pauvres ou sableux) (Kissmam et al., 1999) et se développant dans les champs, les bords des routes, les jachères et les espaces ouverts ou perturbés par l'homme (Kissmam et al., 1999 ; Frangiote-Pallone et De Souza, 2014). La germination de cet adventice annuelle intervient entre le 3^{ème} et 7^{ème} jour et le stade végétatif dure 60 à 75 jours après la levée. Le stade de floraison commence à partir du 61^{ème} jour, suivi de la dispersion des semences. Le cycle de vie dure 180 jours, soit 6 mois (environ 2 mois de phase végétative et 4 mois de dissémination) (Kpla et al., 2017).



Figure 3 : Port herbacé et inflorescence de *P. ruderalis* (Kpla, 2016)

□ Méthodologie

Des fils et des piquets ont servi à délimiter les parcelles élémentaires. Le dispositif expérimental utilisé pour ce test est celui du bloc de Fisher complètement randomisé avec quatre (4) répétitions et six (6) traitements dont un témoin (Figure 4). La superficie des parcelles élémentaires est de 4 m² (2 m x 2 m) et la distance entre les parcelles d'un même bloc est de 1 m et de 2 m entre les blocs. La parcelle élémentaire comprend deux lignes de culture séparées d'un mètre (1 m) entre elles et de 0,5 m de la bordure de la parcelle. Les poquets au nombre de quatre sont séparés les uns des autres de 0,4 m (40 cm) comprenant deux grains de maïs par poquet. Une parcelle élémentaire est constituée de 16 pieds de maïs (Mahamane, 2013).

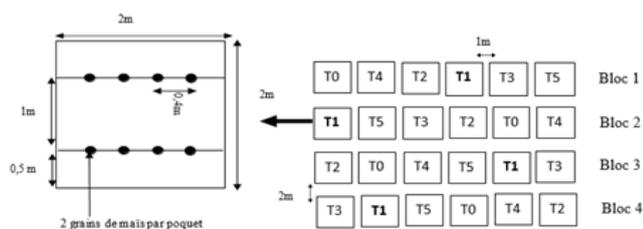


Figure 4 : Dispositif expérimental de l'étude de la nuisibilité de *Porophyllum ruderale* en culture du maïs

Les semis (maïs et *P. ruderale*) ont débuté en 2017 dans le mois de Mai et le suivi de l'essai a duré quatre (4) mois. Le principe est de maintenir la densité de la culture constante tout en faisant varier celle de la mauvaise herbe. Cette méthode additive aussi nommée test d'interférence est couramment utilisée pour déterminer la nuisibilité des adventices et la période critique de désherbage en fonction de la culture en présence (Cousens, 1991). L'indice d'abondance utilisé est le nombre d'individus de l'adventice étudiée par mètre carré ou la densité (individus/m²). Cet indice d'interférence est issu de la méthode de Barralis (1976) (Tableau 1). Les grains de maïs et de l'adventice sont semés le même jour et pour respecter les conditions agronomiques des producteurs de la région, la culture n'a reçu aucun apport d'engrais. Six traitements différents sont appliqués lors des essais de cultures (Tableau 1). Les parcelles expérimentales (T1 à T5) sont régulièrement sarclées (daba et à la main) chaque 15 jours, tout en laissant des plants de *P. ruderale* suivant les différents traitements appliqués. Les parcelles témoins (T0) sont aussi désherbées y compris les mauvaises herbes (*P. ruderale* et autres) à la même fréquence que précédemment. Toutes les parcelles témoins ont subi 4 sarclages au cours des essais. Les paramètres de croissance notamment la hauteur, le diamètre des chaumes et le nombre de feuilles chez le maïs ont été notés grâce à un ruban mètre, un pied à coulisse et un comptage direct pour la feuillaison. Une parcelle élémentaire comprend 16 pieds de maïs en raison de 2 grains par poquet. Pour les relevés, un individu de maïs par poquet est choisi, soit huit (8) individus pour les mesures chaque 15 jours notamment le 15^{ième}, 30^{ième}, 45^{ième} et 60^{ième} jour après semis. La récolte du maïs a subi un déspathage, un égrenage et séchage (5 à 7 jours) pour éliminer l'humidité, puis un pesage par parcelle élémentaire est effectué. Les périodes de réalisation des phases phénologiques de l'adventice et du maïs ont été observées. Les grains de maïs de cette variété sont de couleur jaune avec un rendement moyen sec prévisionnel de 4,5 tonnes /ha.

Tableau 1: Indice d'abondance de Barralis (1976) utilisé pour le test d'interférence entre *P. ruderale* et le maïs

Indices	Traitements	Nombre d'individus de <i>P. ruderale</i> /m ² (densité)
1	T0	0
2	T1	1 à 2
3	T2	5 à 10
3	T3	10 à 20
4	T4	20 à 30
4	T5	Plus de 30

□ **Exploitations des données**

- Calcul du rendement

Le rendement agricole est la quantité de produit récoltée (tonnes) par unité de surface (hectare). L'évaluation du rendement pour ce test se définit comme la superficie de terrain en culture pure nécessaire pour produire les rendements atteints pour un hectare de cultures associées. Cette évaluation des associations de rendements est réalisée grâce au Taux de Surface Equivalente (TSE) selon Willey (1979).

TSE= Rendement de chaque traitement (Pi) /Rendement en culture pure (Pmoy)

Le rendement final (R) en kilogrammes (kg) pour chaque traitement est ramené au pourcentage

$$R = (\sum Pi / Pmoy) \times 100$$

R : rendement pour chaque traitement; $\sum Pi$: somme du poids des grains de maïs pour chaque parcelle en fonction des traitements, Pmoy : poids moyen obtenu pour le traitement témoin ou culture pure.

- Analyses de données

Les paramètres d'observations (hauteur, diamètre, nombre de feuilles et rendements) en fonction de la densité de l'adventice sont indépendants, homogènes et respectant une normalité de distribution. Le test de comparaison des moyennes à un facteur (Anova) est adapté pour cette analyse avec le logiciel Xlsat version 2014. La plus petite différence significative entre les moyennes a été fixée à 5% (*p-value* ≤ 0,05). Lorsque la différence est significative, un test post-hoc (test de Duncan) est réalisé pour classer les différents groupes homogènes. Les traitements appartenant à un même groupe sont affectés de la même lettre.

3. RÉSULTATS

3.1. Effet de *Porophyllum ruderale* sur les paramètres de croissance du maïs

□ **Hauteur des individus de maïs**

L'analyse du paramètre de croissance notamment la hauteur du maïs en fonction des traitements n'est pas significativement différente selon les relevés du 15^{ième}, 30^{ième} et 45^{ième} jours après semis (JAS). Les traitements T0, T1, T2, T3, T4 et T5 appartiennent tous au même groupe « a » à ces trois périodes de relevés après semis (Tableau 2). La compétition entre les plants de maïs et l'adventice n'est pas encore perceptible. Dans les relevés du 60^{ième} après semis, l'analyse statistique montre une différence significative entre les traitements (*F*= 14,89 ; *p* <0,0001), avec deux principaux groupes (Tableau 2). Le premier est composé des traitements T0 (Absence d'individus de *P. ruderale* /m²) et le deuxième est constitué des différents traitements T1, T2, T3, T4 et T5 (1 à plus de 30 individus de *P. ruderale* /m²).

Au terme des relevés, l'évolution des hauteurs des individus du traitement T0 (groupe a) ont une hauteur moyenne de 224,68 ± 72,20 cm, tandis que les autres du second groupe « b » varie de 116 ± 51 cm à 129,09 ± 64,80

cm. Ainsi, l'influence de *P. ruderalis* est observée deux mois après semis sur la hauteur des individus du maïs, avant la phase de floraison. La présence de cet adventice a réduit la croissance en hauteur du maïs.

Tableau 2 : Effet de la densité de *Porophyllum ruderalis* sur la hauteur du maïs à 15, 30, 45 et 60 jours après semis (JAS)

Traitements	Hauteurs des plants de maïs (cm)			
	Période de relevé (JAS)			
	15	30	45	60
T0	13,25 ± 2,51 a	23,81 ± 8,68 a	57,65 ± 27,58 a	224,68 ± 72,20 a
T1	14,03 ± 3,27 a	22,56 ± 5,32 a	52,90 ± 21,99 a	129,09 ± 64,80 b
T2	14,90 ± 4,24 a	23,34 ± 7,58 a	50,75 ± 23,64 a	117,68 ± 59,18 b
T3	13,06 ± 4,10 a	22,09 ± 8,69 a	48,5 ± 20,31 a	126,96 ± 71,12 b
T4	13,78 ± 3,80 a	24,06 ± 8,07 a	53,71 ± 20,5 a	118,93 ± 50,53 b
T5	13,40 ± 3,46 a	23,90 ± 9,48 a	57,46 ± 26,33 a	116 ± 51 b
<i>ddl</i>	5			
<i>F</i>	1,10	0,31	0,76	14,89
<i>p</i>	0,35	0,90	0,57	<0,0001

ddl : degré de liberté, *F* : valeur du test statistique ANOVA, *p* : valeur de la probabilité <0,0001 : très hautement significatif, **a, b, c** : moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil $\alpha = 0,05$ (test de Duncan), JAS : jours après semis

T0 - Absence de *P. ruderalis*; T1 - 1 à 2 individus/m²; T2 - 5 à 10 individus/m²; T3 - 10 à 20 individus/m²; T4 - 20 à 30 individus/m²; T5 - Plus de 30 individus/m²

□ Diamètre des chaumes du maïs

L'analyse de ce paramètre indique qu'il n'y a pas de différence significative au cours des deux premiers relevés (15^{ème} et 30^{ème} JAS). L'influence de *P. ruderalis* est remarquable dans les analyses des relevés du 45^{ème} et 60^{ème} JAS où on observe une différence significative entre les traitements ($F = 6,36$; $p < 0,0001$). Cinq (5) groupes se distinguent au 45^{ème} jours dont deux (2) groupes distincts (**a** et **c**), composés des traitements T0 et T2 et trois (3) groupes intermédiaires (**abc**, **bc**, **ab**) avec les traitements T1, T3, T4 et T5 (Tableau 3). Au 60^{ème} jour, deux (2) principaux groupes sont identifiés notamment les traitements T0 (absence d'individus de *P. ruderalis* / m²) et les traitements avec la présence de l'adventice (T1, T2, T3, T4 et T5).

L'évaluation du diamètre des chaumes du maïs indique qu'il n'y a pas de différence entre les traitements jusqu'à un mois. Les valeurs des diamètres augmentent de 1,41 ± 0,49 à 1,72 ± 0,60 cm. Au dernier relevé, les diamètres de T0 sont les mieux développés soit 2,24 ± 0,72 cm tandis que pour les autres traitements, ils varient de 1,55 ± 0,51 à 1,84 ± 0,38 cm (Tableau 3). En absence de désherbage, *P. ruderalis* a induit un retard dans la croissance en épaisseur des chaumes de plants de maïs.

Tableau 3 : Effet de la densité de *Porophyllum ruderalis* sur le diamètre des chaumes du maïs à 15, 30, 45 et 60 jours après semis (JAS)

Traitements	Diamètre des chaumes (tiges) du maïs (cm)			
	Période de relevé (JAS)			
	15	30	45	60
T0	1,02 ± 0,57 a	1,66 ± 0,89 a	1,83 ± 0,63 a	2,24 ± 0,72 a
T1	1,05 ± 0,51 a	1,72 ± 0,60 a	1,60 ± 0,48 abc	1,77 ± 0,59 b
T2	0,96 ± 0,48 a	1,53 ± 0,72 a	1,41 ± 0,39 c	1,55 ± 0,51 b
T3	1,04 ± 0,55 a	1,65 ± 0,71 a	1,54 ± 0,45 bc	1,67 ± 0,50 b
T4	0,96 ± 0,36 a	1,59 ± 0,54 a	1,6 ± 0,49 abc	1,68 ± 0,44 b
T5	0,99 ± 0,50 a	1,41 ± 0,49 a	1,75 ± 0,44 ab	1,84 ± 0,38 b
<i>ddl</i>	5			
<i>F</i>	0,19	0,87	2,93	6,36
<i>p</i>	0,96	0,50	0,01	<0,0001

ddl : degré de liberté, *F* : valeur du test statistique ANOVA, *p* : valeur de la probabilité <0,0001 : très hautement significatif, **a, b, c** : moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil $\alpha = 0,05$ (test de Duncan), JAS : jours après semis

T0 - Absence de *P. ruderalis*; T1 - 1 à 2 individus/m²; T2 - 5 à 10 individus/m²; T3 - 10 à 20 individus/m²; T4 - 20 à 30 individus/m²; T5 - Plus de 30 individus/m²

□ Production de nombre de feuilles

Les analyses du 15^{ème} jour ne montrent pas de différence significative entre la production des feuilles et les différents gradients de l'adventice. La compétition entre les plants de maïs et l'adventice n'est pas encore perceptible. À partir du 30^{ème} jour, une distinction est observée entre les traitements ($F = 3,69$; $p = 0,003$). Deux (2) groupes se distinguent, composés des parcelles désherbées (T0) et celui des parcelles enherbées (Tableau 4). Le phénomène de compétition entre l'adventice et la culture a engendré une perturbation de la production foliaire du maïs. Cette dernière se poursuit jusqu'à 60^{ème} jour (Tableau 4), composés des deux groupes précédemment cités ($F = 7,75$; $p < 0,0001$).

La production foliaire moyenne est de 4 ± 0,94 feuilles au 15^{ème} jour puis elle varie de 4 à 10 du 30^{ème} au 45^{ème} jour. À 60 jour, cette dernière présente une moyenne estimée à 11,96 ± 1,96 feuilles pour les parcelles enherbées par *P. ruderalis*. Pour les parcelles désherbées, la production foliaire moyenne s'élève à 13,68 ± 2 feuilles (Tableau 4). L'effet de la densité de *P. ruderalis* sur les plants du maïs a débuté entre le 15^{ème} et le 30^{ème} jour. Cette adventice a induit une baisse de la production des feuilles de maïs en fonction de son abondance.

P. ruderalis, adventice nuisible inhibe les paramètres de croissance à différents stades de développement des chaumes du maïs. Deux semaines après semis, aucune influence n'est perceptible (Figure 5). Mais après cette période, l'effet d'une compétition entre l'adventice et la culture perturbe premièrement la production foliaire, puis la croissance en épaisseur des chaumes et enfin la hauteur des chaumes du maïs (Figure 6).

Tableau 4 : Effet de la densité de *Porophyllum ruderale* sur la production foliaire du maïs à 15, 30, 45 et 60 jours après semis (JAS)

Traitements	Nombre de feuilles Période de relevé (JAS)			
	15	30	45	60
T0	4,21 ± 1,06 a	7 ± 1,19 a	9,71 ± 1,44 a	13,68 ± 2 a
T1	4,06 ± 0,80 a	6,31 ± 1,02 b	9,28 ± 1,22 ab	12,12 ± 1,87 b
T2	4,06 ± 0,91 a	6 ± 1,21 b	8,68 ± 1,80 b	11,62 ± 1,97 b
T3	4,03 ± 0,93 a	6,09 ± 1,14 b	9,03 ± 2,07 ab	11,62 ± 1,84 b
T4	3,75 ± 0,98 a	5,90 ± 1,08 b	9,12 ± 1,49 ab	11,25 ± 1,45 b
T5	3,81 ± 0,99 a	6,40 ± 1,31 b	9,28 ± 1,74 ab	11,46 ± 1,64 b
ddl	5			
F	0,78	3,69	1,35	7,75
p	0,55	0,003	0,24	<0,0001

ddl : degré de liberté, F: valeur du test statistique ANOVA, p: valeur de la probabilité <0,0001 : très hautement significatif, a, b, c : moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil $\alpha = 0,05$ (test de Duncan), JAS : jours après semis

T0 - Absence de *P. ruderale*; T1 - 1 à 2 individus/m²; T2 - 5 à 10 individus/m²; T3 - 10 à 20 individus/m²; T4 - 20 à 30 individus/m²; T5 - Plus de 30 individus/m²



Figure 5 : Développement normal du maïs associé à *P. ruderale* (T3, 15^{ème} JAS)

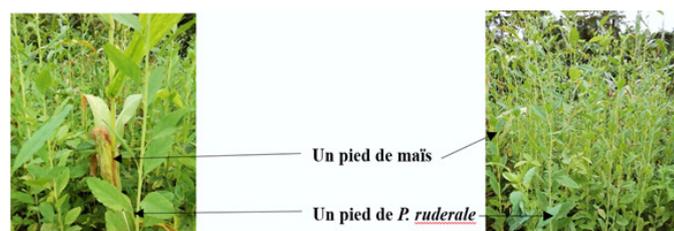


Figure 6 : Chaume (tige) et épis réduits dans l'association maïs et *P. ruderale* (T4, 60^{ème} JAS)

3. 2. Phénologie de *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass., et de *Zea mays* L. (maïs)

Le cycle de vie de *P. ruderale* s'étend sur une période de six mois et celle de notre culture (maïs) est d'environ deux mois et demi. Les germinations ont débuté à partir du troisième jour pour le maïs et l'adventice. Après deux semaines, la mesure de la hauteur du maïs (13 à 14 cm) et celle de *P. ruderale* (5 à 8 cm) et le dénombrement des feuilles est de quatre pour le maïs ainsi que pour l'adventice (Figure 5). La culture et l'adventice entame la phase végétative dans la même période. Cependant, la floraison et formation des épis de maïs interviennent à partir du 40^{ème} jour pendant que

l'adventice est toujours en phase végétative. La période de fructification de cette adventice est observée après la récolte des épis. La compétition entre la culture et l'adventice n'a pas influencé la réalisation des différents stades phénologiques de chacune des espèces.

3. 3. Rendements du maïs en fonction du degré d'infestation de *P. ruderale*

Les rendements moyens obtenus des parcelles d'essais selon le degré d'enherbement de T0, T1, T2, T3 T4 et T5 sont respectivement de 3750 ± 322,5 ; 2562,5 ± 312,5 ; 1500 ± 202,5 ; 1280 ± 155 ; 905 ± 312,5 et 812,5 ± 125 kg/ha. L'analyse statistique réalisée pour l'estimation des rendements moyens en fonction des traitements indique une différence significative ($F = 87,98$; $p < 0,0001$). Les degrés d'infestation de *P. ruderale* ont une incidence sur les rendements obtenus. Le test de Duncan spécifie six (6) groupes (Tableau 5). Les parcelles désherbées (T0) ont obtenu les rendements les plus élevés (3750 ± 322,5 kg/ha) constituant le premier groupe « a ». Les parcelles enherbées par *P. ruderale* à plus de 30 individus /m² (T5), ont fourni les plus faibles rendements, constituant le dernier groupe « e ». Lorsque le degré d'infestation augmente, on observe une réduction de la productivité. Le taux d'enherbement de 5 à 10 individus de *P. ruderale* /m², a engendré une perte de rendement de plus de 50 % et celui de plus de 30 individus / m², une perte d'environ 80 %.

Tableau 5 : Rendements moyens (Kg/ha) en fonction du degré d'infestation de *P. ruderale*

Densité de <i>P. ruderale</i>	Rendement moyen ± Ecart-type
T0	3750 ± 322,5 a
T1	2562,5 ± 312,5 b
T2	1500 ± 202,5 c
T3	1280 ± 155 cd
T4	905 ± 312,5 de
T5	812,5 ± 125 e
ddl	5
F	87,98
p	< 0,0001

ddl : degré de liberté, F: valeur du test statistique ANOVA, p: valeur de la probabilité <0,0001 : très hautement significatif, a, b, c : moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil $\alpha = 0,05$ (test de Duncan), JAS : jours après semis

T0 - Absence de *P. ruderale*; T1 - 1 à 2 individus/m²; T2 - 5 à 10 individus/m²; T3 - 10 à 20 individus/m²; T4 - 20 à 30 individus/m²; T5 - Plus de 30 individus/m²

4. DISCUSSION

La nuisibilité de *P. ruderale* sur le maïs est insignifiante pendant les deux premières semaines. Après quinze jours, les conséquences de l'enherbement se manifestent progressivement. Elles engendrent une perturbation de la production foliaire, puis le diamètre des chaumes et enfin sur la croissance en hauteur des chaumes du maïs. Cette période caractérise la phase végétative où la culture et les mauvaises herbes mènent une active compétition pour les besoins nutritionnels, pour l'eau, la lumière et l'espace.

Les études menées par Kouakou (2016) ont indiqué que l'adventice *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) W. C. n'a pas d'effets significatifs sur la hauteur des plants de maïs les deux premières semaines. Mais, à partir de la troisième semaine, la présence de *R. cochinchinensis* perturbe le développement des chaumes (tiges) du maïs.

La période d'interférence de l'adventice sur la culture s'identifie à partir de la troisième semaine mais la période critique de désherbage se situe entre le 21^{ème} et 30^{ème} jour avec une densité de l'adventice s'élevant de 5 à plus 30 individus/m². En effet, à ce stade l'adventice et la culture manifestent un besoin crucial en éléments nutritifs, afin de développer leurs systèmes racinaires et leur biomasse, engendrant une rude compétition. Ce qui pourrait expliquer cette perturbation et une diminution en productivité des épis de maïs issus des parcelles très enherbées. Rojas *et al.*, (1993) ont situé cette période entre le 45^{ème} et 60^{ème} jour pour les densités de *R. cochinchinensis* comprises entre 66 et 74 individus/m². Bridgemohan *et al.*, (1992) définissent cette période au 63^{ème} jour avec une densité de 55 individus/m² de *R. cochinchinensis*.

La densité de l'adventice n'a pas d'incidence sur la réalisation de stades phénologiques de la culture. Par contre, Ipou Ipou *et al.*, (2016) ont montré que lorsque la densité de *R. cochinchinensis* augmentait, les phases phénologiques du maïs étaient plus longues. La nuisibilité de *R. cochinchinensis* est très marquée dans la maïsiculture ces deux espèces étant de la famille des Poaceae. Néanmoins, les adventices Dicotylédones causent également de nombreuses pertes car leur système racinaire est plus développé que les Monocotylédones et elles absorbent plus facilement le calcium et le magnésium (Peeters et Salembert, 1995).

Le degré d'enherbement de *P. ruderalis* a engendré des pertes sur le rendement du maïs. Ces dernières s'élèvent à plus de 50 % pour une densité de 5 à 10 individus/m² et à plus de 80 % pour une densité de plus de 30 individus/m². Lorsque le degré d'infestation de *P. ruderalis* augmente, la productivité du maïs diminue, conséquent à un rendement faible et imprévu. Les travaux de Ipou Ipou *et al.*, (2016) ont estimé une perte de rendement de 22 à 89 % pour une densité de *R. cochinchinensis* comprise entre 2 à 20 individus/m² en culture du maïs. L'adventice *Striga sp.* (Scrophulariaceae), peut entraîner des pertes de rendement allant jusqu'à 100% en cultures céréalières (Hassan *et al.*, 1994).

5. CONCLUSION

L'étude de la nuisibilité de *Porophyllum ruderalis* dans la culture du maïs a confirmé que cette adventice herbacée peut induire des pertes de productions considérables en absence de désherbage. Il ressort de cette étude que le développement de l'adventice interfère dans la production foliaire, la croissance en épaisseur des chaumes et la taille des individus du maïs. Ces différents paramètres de croissance étant désorganisés, induisent une baisse de rendement en fonction de la densité de l'adventice par mètre carré. Lorsque l'adventice est abondante, la production diminue. Pour réduire les pertes dû à l'enherbement en maïsiculture, il faudrait nécessairement

désherber au moins deux fois, entre entre le 21^{ème} et 27^{ème} et le second entre 40^{ème} et 50^{ème} jour après le semis.

6. RÉFÉRENCES

- Barralis G. (1976). Méthode d'étude des groupements adventices des cultures annuelles, application à la Côte d'or. V^{ème} colloque international sur l'écologie et la Biologie des Mauvaises herbes (Dijon) I, 59-68.
- Boraud N. K. M., et Kouassi K. C. (2005). La nuisibilité spécifique de *Cyperus rotundus* L. (Cyperaceae) dans la culture de la canne à sucre au Nord de la Côte d'Ivoire. Agronomie Africaine, XVI (1) pp. 207- 216.
- Bridgemohan P., David M. C. R., Bekele I., Brathwaite R. A. I. (1992). The effects of *Rottboellia cochinchinensis* on the growth, development and yield of maize. Tropical Pest Management 38 : pp 400-407.
- Caussanel J. P. (1989). Nuisibilité et seuil de nuisibilité des mauvaises herbes dans une culture annuelle : relation de concurrence bispécifique. Agronomie, 9 : 219-240.
- Cirad et Gret. (2002). Mémento de l'agronome. Ministère des affaires étrangères de la France, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad), Groupe de recherche et d'échanges technologiques (Gret), éditions Quae, 1699 p.
- Cousens R. (1991). Aspects of the design and interpretation of competition (interference) experiments. Weed Technology. 5: pp 664-673.
- De Marinis G., Lepos A., Friebolin L. P., Ram M. (1980). Capacité de reproduction de *Porophyllum ruderalis* (Jacq.) Cass. Institut de Biosciences, University Cet-double Paulista, science des Langues de São José do Rio Preto (nouvelle Nom : Institut de Biosciences, Arts et Sciences Exactes, UNESP). Plant mauvaises herbes III, (1):55-57
- Dogba M., Malan D. F., Neuba D. F. R., Konan A. S. (2018). Biologie et écologie de *Porophyllum ruderalis* (Jacq.) Cass., une Compositae nouvellement apparue en Côte d'Ivoire. Journal of Animal & Plant Sciences, Vol.36, Issue 3 : 5907-5918.
- Douti P. Y., Djagni K., Jallas E. (1995). Cotonnier contre mauvaises herbes : quelle est la période de concurrence ? Agriculture et Développement, 7 : 31-35.
- Hassan R., Ransom J. K., Ojiem J. (1994). The spatial distribution and farmers' strategies to control *Striga* in maize: survey results from Kenya. In Maize Research for Stress Environments, Proceedings of the Fourth Eastern and Southern Africa Regional Maize edited by D. C. Jewell S.R. Waddington, J. K. Ransom and K. V. Conference 28, 250-254, 4p.
- Ipou Ipou J., Mahamane A., Yapi A. F. (2016). Désherbage chimique des cultures en Côte d'Ivoire : Enjeux socio-économiques et agricole. XXIII^e conférence du COLUMA, Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes. 6, 7 et 8 Décembre, Dijon, France, 10 p.
- Kissmam K. G., et Groth D. (1999). Plantas infestantes e nocivas. Tomo II. 2. ed. São Paulo : Basf, 420 p. ; 414-417 e 392-395.

- Kouakou N. J. (2016). Étude floristique des adventices et effets de *Rottboellia cochinchinensis* (Loureiro) W. Clayton sur les caractères agronomiques du maïs (*Zea mays* L.) (Poaceae) en culture dans le Département de M'bahiakro (Centre-Est de la Côte d'Ivoire), Thèse de doctorat, l'Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 154 p.
- Kpla C. F., Touré A., Gué A., Ipou Ipou J. (2018). Distribution d'une nouvelle adventice, *Porophyllum ruderale* (Asteraceae), des cultures de Côte d'Ivoire, European Scientific Journal, édition Vol.14, No.36 ISSN : 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.
- Le Bourgeois T. et Merlier H. (1995). Adventrop : les adventices d'Afrique soudano-sahélienne, édition. CIRAD-CA, 640 p.
- Mahamane A. (2013). Influence de la densité de *Rottboellia cochinchinensis* (Loureiro) W. Clayton (Poaceae) sur le rendement de *Zea mays* L. (Poaceae) dans le Département de M'bahiakro, Mémoire DEA, l'Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 54 p
- OCDE/FAO. (2018). « Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO », Statistiques agricoles de l'OCDE (base de données), <http://dx.doi.org/10.1787/agr-data-fr>.
- Peeters A. et Salembert J-F. (1995). Contrôle des mauvaises herbes. In: Agronomie moderne, bases physiologiques et agronomiques de la production végétale, Hatier Aupelf. Uref, Paris, France, 427-464.
- Rojas C. E., Cruz D. L. R., Merayo A. (1993). Efecto competitivo de la caminadora *Rottboellia cochinchinensis* (Lour) Clayton en el cultivo del maiz (*Zea mays* L.). Manejo Integrado de Plagas 27, pp. 42-45.
- Smale, Melinda, Diakité, Lamissa, Keita, Naman. (2011). Location, vocation and price shocks: cotton, rice and sorghum-millet farmers in Mali. Development in Practice 21(4-5):590-603.
- Thalouarn P. et Fer A. (1993). Le "*Striga*", un ravageur de cultures vivrières : le point sur les connaissances récentes et sur les méthodes de lutte. Cahiers Agricultures, 2(3), 167-182.
- Willey RW. (1979). Intercropping. Its importance and research needs. Part1.Competition and yields advantage. Part 2. Agronomy and research approaches. Field cropping Abstracts, 32 (1), 1-10, 73-85.
- Yao N.R., Oule A.F., N'Goran K.D. (2013). Étude de Vulnérabilité du Secteur Agricole face aux Changements Climatiques en Côte d'Ivoire. Rapport Ministère de l'Environnement et du Développement Durable et du PNUD, 105 p.
- Yapi A-F. (2017). Mauvaises herbes majeures et itinéraires techniques de désherbage des cultures vivrières de la région de la Mé, au sud-est de la Côte d'Ivoire : cas du bananier plantain et du manioc. Thèse de doctorat, Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 179 p.

Réponse du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) à l'inoculation mycorhizienne en fonction de la distance d'apport d'engrais phosphatés

Titre court : Efficacité d'utilisation du P sous une inoculation mycorhizienne

Iliassou Nignan^{1,2*}, Jean Ouedraogo², Idriss Serme², Kalifa Coulibaly¹

Résumé

Il est urgent de développer des stratégies d'apport des engrais phosphatés en réponse à la faible efficacité d'utilisation du phosphore due fait de sa faible mobilité dans le sol. Ainsi, une étude a été conduite à la station de l'INERA de Saria en 2022 et 2023 afin d'évaluer l'effet des interactions entre l'inoculation mycorhizienne et la distance d'apport des engrais phosphatés sur les paramètres de croissance du mil et l'efficacité d'utilisation du phosphore. Les engrais utilisés ont été le TSP (Triple-Superphosphate) et le CBKCa (Burkina-Phosphate-Calciné-enrichi en Calcium). Ainsi, un dispositif en split-split-plot avec trois répétitions a été installé. Les parcelles principales étaient constituées des parcelles inoculées et non inoculées. Les sources de P (TSP et Burkina-Phosphate-Calciné-enrichi en Calcium) ont été appliquées sur les parcelles secondaires. Les parcelles tertiaires étaient constituées de deux distances d'apport des engrais (d5=5cm et d10=10cm du collet des plantes). Ils ont été appliqués à la dose de 23kgP₂O₅.ha⁻¹, en combinaison avec N-K-S-B, respectivement 37-14-6-1 kg.ha⁻¹. En plus des paramètres de croissance et du rendement, l'efficacité d'utilisation du phosphore par le mil a été évaluée. Les résultats ont montré que quelle que soit la distance d'application des engrais, l'apport de l'inoculum a entraîné une augmentation significative de la hauteur (8,29cm) (p = 0,014) et du diamètre au collet (212,87mm) (p = 0,027) en 2023. Indépendamment des distances, l'inoculation a amélioré significativement les indices d'efficacité d'utilisation du P par le mil. En présence de l'inoculum, d5 a permis d'enregistrer la valeur moyenne du rendement en grain le plus élevé avec 1599kg.ha⁻¹. Le traitement d5 en présence de l'inoculum a entraîné une augmentation de 39,84% du rendement en grain par rapport au traitement d5 en absence d'inoculum. Comparativement à d10, cette augmentation est estimée à 35,65% et 55,91% respectivement en présence et en absence d'inoculum. Ces résultats montrent l'importance des mycorhizes dans le processus de mise à disposition du P aux cultures.

Mots-clés : Mil, mycorhizes, utilisation du Phosphore TSP et CBKCa, Burkina Faso.

Abstract

Response of millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) to mycorrhizal inoculation as a function of phosphate fertilizer application distance

It is urgent to develop strategies for applying phosphate fertilizers in response to the low efficiency of phosphorus use due to its low mobility in the soil. Thus, a study was conducted at the INERA Saria station in 2022 and 2023 in order to evaluate the effect of interactions between mycorrhizal inoculation and the distance from which phosphate fertilizers are applied on millet growth parameters and phosphorus use efficiency. The fertilizers used were TSP (Triple-Superphosphate) and CBKCa (Burkina-Phosphate-Calcinated-enriched with Calcium). Thus, a split-split-plot design with three repetitions was installed. The main plots consisted of inoculated and non-inoculated plots. P sources (TSP and Burkina-Calcined Phosphate-enriched with Calcium) were applied to secondary plots. The tertiary plots consisted of two fertilizer application distances (d5=5cm and d10=10cm from the plant collar). They were applied at a dose of 23kgP₂O₅.ha⁻¹, in combination with N-K-S-B, respectively 37-14-6-1 kg.ha⁻¹. In addition to growth parameters and yield, the efficiency of phosphorus use by millet was evaluated. The results showed that whatever the distance of fertilizer application, the addition of inoculum resulted in a significant increase in height (8.29cm) (p = 0.014) and diameter at the collar (212.87mm) (p = 0.027) in 2023. Independently of the distances, inoculation significantly improved the indices of P use efficiency by millet. In the presence of the inoculum, d5 made it possible to record the average value of the highest grain yield with 1599kg.ha⁻¹. Treatment d5 in the presence of inoculum led to an increase of 39.84% in grain yield compared to treatment d5 in the absence of inoculum. Compared to d10, this increase is estimated at 35.65% and 55.91% respectively in the presence and absence of inoculum. These results show the importance of mycorrhizae in the process of providing P to crops.

Keywords: Millet, mycorrhizae, use of Phosphorus TSP and CBKCa, Burkina Faso.

(1) Université Nazi BONI (UNB). Institut du Développement Rural (IDR). Laboratoire d'étude et de recherche sur la fertilité du sol (LERF). BP 1091 Bobo-Dioulasso (Burkina Faso).

E-mail : inignan0@gmail.com

(2) Institut de l'Environnement et de Recherche Agricole (INERA). BP 476 Ouagadougou 01 (Burkina Faso).

INTRODUCTION

Le phosphore (P) est un macronutriment peu disponible, essentiel à la croissance et au rendement des cultures. Son absorption via le système racinaire se fait à partir principalement de la solution du sol et il joue un rôle central dans la physiologie des plantes. En effet, le phosphore déclenche la formation des grains tandis que sa déficience affecte le poids de mille grains (Dikir et Abayechaw, 2022).

Toutefois, la carence en phosphore est un problème répandu dans les sols acides, et peut devenir un obstacle majeur à la croissance des cultures et la réalisation des rendements acceptables (George *et al.*, 2016). En effet, selon Holford (1997), la disponibilité pour les plantes du P apporté est faible puisqu'on considère qu'environ 80 % de cet élément apporté est immobilisé et devient donc indisponible, au moins à court terme, pour les plantes à cause de l'adsorption, de la

précipitation ou de la conversion sous forme organique.

Dans la zone subsaharienne, avec majoritairement des sols acides, cette faible disponibilité du phosphore se manifeste par une complexation du P apporté par l'aluminium et ou le fer (Haefele *et al.*, 2014). En plus, plusieurs études ont été publiées pour mettre en garde contre une éventuelle crise des réserves de P (Syers *et al.*, 2011; Reijnders, 2014). Face à cette situation, une application d'engrais phosphaté dans une stratégie de gestion durable de la fertilité de sols et de l'eau est actuellement nécessaire afin de fournir suffisamment de P disponible pour les plantes. Dans cette optique que Nignan *et al.* (2023), ont indiqué que l'utilisation la plus efficace des engrais phosphatés est généralement obtenue lorsque le P est placé en bande dans un petit volume de sol près de la semence. En effet, l'étude de ces auteurs a montré que quelle que soit la solubilité des engrais phosphatés, leur efficacité est atteinte que lorsque ces engrais sont apportés en bande à 5 cm du collet de la plante. En plus, il est de plus en plus admis que l'inoculation mycorhizienne joue un rôle important dans l'absorption du P par les plantes. En effet, les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) forment une symbiose bénéfique avec les racines, en augmentant la surface racinaire aidant les racines à explorer de plus grands volumes de sol et contribuent à un plus grand apport de nutriments (Khaliq *et al.*, 2022). De plus, l'amélioration de l'absorption des éléments minéraux (le phosphore et l'azote), de la nutrition et de la croissance des plantes associées aux mycorhizes ont été largement étudiées (Djatta *et al.*, 2014; Haro *et al.*, 2015; Haro *et al.*, 2017). Par exemple, Haro *et al.* (2017) ont démontré que la croissance et la production des plantes sont améliorées par la symbiose mycorhizienne même lorsque ces plantes poussent sur des sols relativement pauvres en éléments minéraux. Or, il est bien établi que le mil est une mycotrope (Haro *et al.*, 2013). Ainsi, en milieu tropical, où les sols sont relativement pauvres en certains éléments nutritifs notamment le P (Zougrana *et al.*, 2022), avec un fort pouvoir fixateur (Haefele *et al.*, 2014), la présence des mycorhizes s'avère donc un atout indispensable. L'étude a pour objectif d'évaluer l'effet des interactions entre l'inoculation mycorhizienne et l'apport d'engrais phosphatés sur les paramètres de croissance du mil et l'efficacité d'utilisation du P.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Description du site

L'étude a été conduite sur un sol ferrugineux tropical peu lessivé (CPCS, 1967), dénommé lixisol (IUSS Working Group WRB, 2014), à la station de recherche de Saria (province du Boulkiemdé) dans la zone Nord soudanienne du Burkina Faso (Figure 1). La station est située à 309 m d'altitude ; 12°15'57" de latitude Nord et 2°08'47" de longitude Ouest. Les caractéristiques chimiques de l'horizon 0-20 cm (Tableau 1) indiquent un sol acide (pH eau = 3,64), avec une faible teneur en MO (0,45 %), ce qui explique la faiblesse de la capacité d'échange cationique (CEC). La teneur en phosphore assimilable était de 10,47 mg.kg⁻¹. Le sol est classé comme étant moyen en P selon Mallarino *et al.* (2016) suivant Bray I pour les champs agricoles. Le sol a été mis en jachère depuis 2018 jusqu'à la mise en place de l'essai

en 2022. Les pluies enregistrées durant les périodes de culture allant du 16 juillet (semis) au 30 octobre 2022 (récolte) et du 26 juillet (semis) au 7 novembre 2023 (récolte) sur le site expérimental à la station de recherche de l'INERA-Saria sont présentées dans la figure 1. En 2022, de la date des semis à celle de la récolte, 33 évènements pluvieux ont été enregistrés pour un cumul pluviométrique de 586,3 mm (Figure 2A). Les données de 2023 indiquent que 378,5 mm de pluie ont été enregistrés en 40 jours de pluies (Figure 2B) avec seulement un évènement pluvieux supérieurs à 50 mm. Le mois d'Août, correspondant à la période allant du 15^{ème} JAS au 45^{ème} JAS, a été le plus pluvieux avec un cumul pluviométrique de 312,2 mm tombées en 17 jours de pluies.

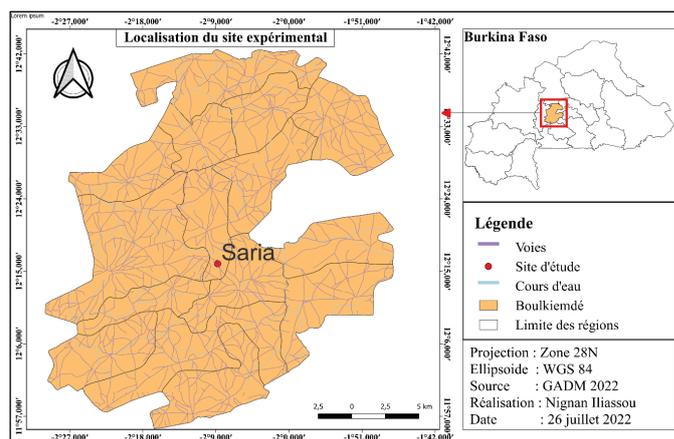


Figure 1 : Localisation du site d'expérimentation

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques du sol (0-20 cm) de la station de Saria

Caractéristiques Physico-chimiques	Teneurs
Texture (%)	
Sable grossier	18
Sable fin	28
Limon grossier	31
Limon fin	9
Argile	14
Carbone total (mg.kg⁻¹)	0,605
Azote total (g.kg⁻¹)	0,042
Cation (c mol.kg⁻¹)	
Ca ⁺⁺	1,250
Mg ⁺⁺	0,370
K ⁺	0,127
Na ⁺	0,030
Somme des bases (S)	1,777
Capacité d'échange cationique	3,017
Saturation (S/T x 100) (%)	65,000
pHeau	3,637
Phosphore total (mg.kg⁻¹)	67,375
Phosphore assimilable (mg.kg⁻¹)	10,47

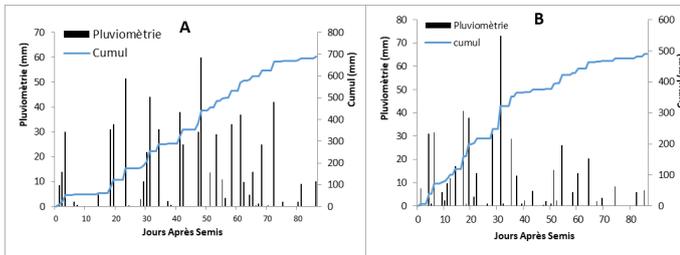


Figure 2. Caractéristiques pluviométriques des campagnes agricoles 2022 (A) et 2023 (B) de Saria (Burkina Faso)

2.2. Matériel végétal

La variété IKMP 5 du mil (*Pennisetum glaucum*) (L.) R. Br., a été obtenue auprès de l'INERA (Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Ouagadougou, Burkina Faso) (INERA/ICRISAT, 1987). Cette variété avec un rendement moyen de 1,7 t.ha⁻¹ a été utilisée au cours de la campagne de 2021-2022 et de 2022-2023. Elle est résistante au striga et tolérante à la sécheresse. Son cycle semis-maturité dure 110 jours.

2.3. Inoculum

En 2022 et 2023, une inoculation a été effectuée. Le matériel fongique était composé d'un inoculum mixte local efficace de champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) isolé de la rhizosphère du niébé cultivé au Burkina Faso [*Scutellospora sp.*, *Gigaspora sp.*, *Glomus sp.* (*Yac 2 mix*)] (Haro, 2016). Il a été obtenu auprès du Laboratoire de Microbiologie, INERA/DPF. En 2023, le même essai sur l'inoculum a été reconduit sur la même parcelle.

2.4. Fertilisants

Pour les tests, les engrais minéraux utilisés sont présentés dans le tableau 2. Les apports d'azote (N) ont été faits sous forme d'urée au 15^e et 45^e jours après semis (JAS) dans tous les traitements. Le potassium (K), le bore (B) ainsi que le soufre (S) ont été apportés sous forme de KCl (60 % K₂O), de Borax (14 % B) et de Sulfate de zinc (18 % S) au 15^e JAS (Tableau 2). Concernant le phosphore, deux sources à savoir le CBKCa et le TSP ont été utilisées dans cette étude. Le CBKCa a été préparé en utilisant le Burkina Phosphate (BP) en deux étapes selon la procédure décrite par Nakamura *et al.* (2019). Le triple super phosphate (TSP) a été utilisé comme contrôle positif.

Tableau 2. Quantité des matières fertilisantes et dosage des éléments nutritifs utilisés

Matière fertilisante	Quantités matière (kg/ha)	Éléments fertilisants	Taux (%)	Dosage (Unité fertilisant)
TSP	50	P ₂ O ₅	46	23
CBKCa	128	P ₂ O ₅	18	23
Urée	80	N	46	37
KCl	23	K ₂ O	60	14
Borax	7	B	14,5	6
Sulfate de zinc	33	S	18	1

2.5. Conduite de l'expérimentation

Les semis ont été précédés d'une préparation du sol effectuée en trois étapes suivant les pratiques conventionnelles.

La préparation du sol a consisté à débarrasser le sol de la végétation naturelle à l'aide de coupe-coupe, et à l'ameublir à partir d'un labour plat. Ensuite, un nivellement a été réalisé à l'aide d'une herse. Les apports de fertilisants ont été précédés d'une opération de démarrage, qui a permis de réduire le nombre de plantes à 2 par poquet. Trois sarclages ont été effectués pour limiter la concurrence entre le mil et les mauvaises herbes. Concernant les mycorhizes, l'inoculation a lieu au moment des semis. Elle a consisté à mettre dans chaque poquet de semis une quantité de 10 g d'inoculum. Les parcelles témoins absolu n'ont pas reçu d'inoculum.

2.6. Dispositif expérimental

L'essai a été conduit en 2022 et 2023 pendant la saison de pluies. Un dispositif de type split-split-plot avec trois répétitions a été installé. En plus du témoin absolu sans apport d'engrais phosphaté non inoculé (T0) et du témoin sans apport d'engrais phosphaté inoculé (T1), huit (08) traitements ont été appliqués en combinant trois facteurs. Ce sont : un premier facteur à deux (02) modalités (les parcelles inoculées et celles non inoculées), un second facteur à deux (02) modalités constituées par les sources d'engrais phosphaté (CBKCa et TSP) et un troisième facteur à deux (02) niveaux qui sont les différentes distances (cm) d'apport des engrais phosphatés (5 et 10 cm du collet de la plante). Les parcelles élémentaires étaient distantes de 0,5 m et les blocs séparés entre eux par une allée de 1 m. Les dimensions de chaque parcelle élémentaire étaient de 4 m x 4 m soit une superficie de 16 m². Les dimensions du dispositif expérimental étaient de 14 m sur 57 m, soit une superficie totale de 798 m².

Les différents traitements sont les suivants :

T0 : témoin absolu sans source de phosphore non inoculé

T1 : témoin sans source de phosphore inoculé

T2 : non inoculé + CBKCa + d5

T3 : non inoculé + TSP + d5

T4 : inoculé + CBKCa + d5

T5 : inoculé + TSP + d5

T6 : non inoculé + CBKCa + d10

T7 : non inoculé + TSP + d10

T8 : inoculé + CBKCa + d10

T9 : inoculé + TSP + d10

Avec d5 et d10 correspondant à la distance de 5 et 10 cm entre le collet de la plante et le point d'apport des engrais phosphatés respectivement.

2.7. Paramètres mesurés

Paramètres de croissance

Pour la mesure de l'ensemble des paramètres de croissance, cinq (05) plantes par parcelle élémentaire ont été identifiées. Les mesures ont été effectuées à deux périodes différentes : au 35^{ème} et au 98^{ème} jours après le semis. La hauteur moyenne allant du collet au sommet de la feuille chapeau a été mesurée à l'aide d'un mètre ruban. Concernant le diamètre au collet,

il a été mesuré à l'aide d'un pied à coulisse. Le taux de croissance relative en hauteur (TCRh) et celui du diamètre au collet (TCRd) ont été calculés selon la formule utilisée par Haro *et al.* (2020).

$TCRh = (Hf - Hi) / Hi$ avec Hi : hauteur initiale au 35° JAS et Hf : hauteur finale au 98° JAS.

$TCRd = (Df - Di) / Di$, avec Di : Diamètre au collet initial au 35° JAS et Df : Diamètre au collet final au 98° JAS.

Paramètres de production

L'évaluation du rendement a été faite en délimitant d'abord une superficie de 8,96 m² dans chaque parcelle élémentaire à la récolte. Ensuite, les épis et les tiges ont été coupés et disposés au soleil dans une aire de séchage. Puis, les épis ont été battus, vannés et pesés pour avoir le poids grains. Enfin, les rendements en grains et en pailles ont été déterminés suivant la formule suivante :

$$\text{Rendement (RDG) kg. ha}^{-1} = \frac{\text{Poids grains ou Biomasse (kg)}}{8,96 \text{ m}^2} * 10000 \text{ m}^2$$

Evaluation de l'effet de l'interaction entre l'inoculation et les distances d'apport de P sur le rendement.

L'effet de l'interaction sur le rendement en grain a été calculé en utilisant la formule de Ouédraogo *et al.* (2007).

$$\Delta Rdt_{INd(i)} = Ai + Bj + Eij \quad (\text{Eq1})$$

Ici $\Delta Rdt_{INd(i)}$ est l'effet de l'inoculation du sol et des distances entre les points d'application des engrais phosphatés et le collet des plantes sur le rendement ; Ai, est l'effet des distances entre les points d'application des engrais phosphatés et le collet des plants ; Bj est l'effet de l'inoculation et Eij est l'interaction entre l'inoculation et les différents points d'application.

La contribution des différentes distances entre les points d'application des engrais phosphatés et le collet des plants au rendement en grains (Ai) est calculée comme la différence entre le rendement dans les échantillons des parcelles au point d'apport (i) $Rdt_{d(i)}$ et dans les parcelles témoin sans apport d'engrais phosphaté (i) $Rdt_{(t0)}$.

$$Ai = Rdt_{NNd(i)} - Rdt_{NN(t0)} \quad (\text{Eq 2})$$

La contribution de l'inoculation au rendement (Bj) est calculée comme étant la différence entre le rendement dans les parcelles inoculées (Rdt_{IN}) et celui des parcelles non inoculées (Rdt_{NN}) $Bj = Rdt_{INT0} - Rdt_{NN(t0)}$ (Eq 3)

$\Delta Rdt_{INd(i)}$ (i) a été calculé comme étant la différence entre le rendement dans les échantillons des parcelles inoculées ayant reçu l'engrais phosphaté à la distance (i) ($Rdt_{INd(i)}$) et le rendement des parcelles non inoculées et n'ayant pas reçu d'engrais phosphaté ($Rdt_{NN(t0)}$).

$$\Delta Rdt_{INd(i)} = Rdt_{INd(i)} - Rdt_{NN(t0)} \quad (\text{Eq 4})$$

De l'Eq 1 on déduit que $Eij = \Delta Rdt_{INd(i)} - (Ai + Bj)$ (Eq 5)

Ainsi, en remplaçant $\Delta Rdt_{INd(i)}$, Ai, Bj, par leurs valeurs respectives des Eq 2, 3 et 4 dans Eq 5, on obtient les effets d'interaction (Eij).

$$Eij = (Rdt_{INd(i)} - Rdt_{NNd(i)}) - (Rdt_{INT0} - Rdt_{NN(t0)}) \quad (\text{Eq 6})$$

Évaluation de l'efficacité d'utilisation du P

L'efficacité d'utilisation du P a été déterminée à l'aide des indices référés dans le Tableau 3 suivant les formules de Dobermann (2007). L'efficacité d'utilisation du P a été évaluée à travers des indices agronomiques tels que l'efficacité physiologique du phosphore (PEP), l'efficacité agronomique du P (AEP), l'efficacité interne d'utilisation du P (EIP) et le taux de recouvrement apparent de l'application du P (REP).

2.8. Analyses statistiques

Tableau 3. Les différents indices agronomiques

Indices	Formules
Taux de recouvrement apparent du phosphore (REP)	$\frac{X_{di} - X_{t0}}{Y}$
Efficacité physiologique du phosphore (PEP)	$\frac{RDG_{di} - RDG_{t0}}{X_{di} - X_{t0}}$
Efficacité agronomique du phosphore (AEP)	$\frac{RDG_{di} - RDG_{t0}}{Y}$
Efficacité interne du phosphore (EIP)	$\frac{RDG_{di}}{X_{di}}$

Y: dose du phosphore appliquée (kg/ha) ; RDG_{di}: Rendement grain obtenu la distance di d'apport des engrais phosphatés ; RDG_{t0}: Rendement grain obtenu avec le témoin ; X_{di}: Exportation totale du phosphore à travers les grains et la paille pour la distance di d'apport et X_{t0}: Exportation totale (grain + paille) obtenu avec le témoin.

Les données collectées ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) avec le logiciel GenStat version 12.1. Une séparation des moyennes a été faite lorsque les différences étaient significatives à l'aide du test de Newman-Keuls (p < 0,05).

3. RESULTATS

3.1. Effet de l'inoculation, de la source de P, des points d'application sur les paramètres de croissance du mil

Le tableau 4 présente les résultats de l'analyse de variance (ANOVA) des effets des trois facteurs (Inoculation, Source de P et distance entre les points d'application des engrais phosphatés et le collet des plants) et de leurs interactions sur les paramètres de croissance mesurés en 2022 et 2023. A l'exception du taux de croissance relative du diamètre au collet et celui de la hauteur, les plantes des parcelles inoculées ont enregistré les valeurs moyennes les plus élevées en hauteur et en diamètre au collet ; et ce, quelle que soit l'année de production et la période de mesure.

Concernant la source de P et la distance entre le point d'apport des différentes sources de P et le collet de la plante, le même constat a été observé avec le CBKCa et le traitement d10 (apport d'engrais phosphaté à 10 cm du collet des plants). En 2022, les résultats d'analyse de variance (ANOVA) ont indiqué qu'aucun facteur n'a eu d'effet significatif au seuil de 5 % sur l'ensemble des paramètres de croissance du mil quelle que soit la période de mesure. En 2023, concernant la source de P, l'analyse de variance n'a relevé aucune différence statistiquement significative entre les traitements quelle que soit la période de mesure. Par contre, pour ce qui est de l'inoculation et de la distance entre le point d'apport des différentes sources de P et le collet de la plante, l'ANOVA a indiqué un effet statistiquement significatif entre les traitements pour chaque période de mesure. En ce qui concerne l'interaction entre les facteurs, indépendamment de l'année de production, l'analyse de variance n'a révélé aucun effet significatif (p > 0,05)

sur l'ensemble des paramètres de croissance.

traitement d5 en présence de l'inoculation et diffère statistiquement

Tableau 4. Variation des paramètres de croissance en fonction des facteurs et de leur interaction

Facteurs	Traitements	Diamètre 1		Diamètre 2		TCRd		Hauteur 1		Hauteur 2		TCRh	
		(mm)		(mm)		(%)		(cm)		(cm)		(%)	
		2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023
Inoculation	Inoculées	3,42	8,29 ^a	10,44	10,27 ^a	205	30	13,75	64,94 ^a	128,50	212,87 ^a	834	342
	Non inoculées	3,18	6,26 ^b	9,44	7,58 ^b	196	17	11,75	51,10 ^b	118,22	163,45 ^b	906	318
	Probabilité	0,290	0,014	0,574	0,029	0,130	0,206	0,520	0,028	0,831	0,027	0,154	0,758
	Signification	NS	S	NS	S	NS	NS	NS	S	NS	S	NS	NS
Source	CBKCa	3,96	7,49	10,52	9,29	187	25	13,29	60,75	127,99	184,84	863	200
	TSP	3,54	7,06	10,33	8,56	202	22	11,21	55,30	114,73	196,41	923	250
	Probabilité	0,654	0,575	0,737	0,531	0,691	0,779	0,368	0,023	0,321	0,541	0,071	0,252
	Signification	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Points	d10	3,65	6,46 ^b	10,18	7,70 ^b	195	24	11,52	51,82 ^b	118,27	170,38 ^b	927	229
	d5	3,85	8,09 ^a	10,67	10,14 ^a	194	23	12,98	64,23 ^a	124,44	190,87 ^a	859	221
d'apports	Probabilité	0,405	0,019	0,387	0,023	0,928	0,890	0,229	0,047	0,267	0,023	0,987	0,850
	Signification	NS	S	NS	S	NS	NS	NS	S	NS	S	NS	NS
Interaction	Source*Inoculation	0,680	0,704	0,713	0,809	0,479	0,874	0,490	0,512	0,746	0,641	0,987	0,921
Interaction	Inoculation *Points d'apport	0,414	0,171	0,694	0,370	0,553	0,749	0,168	0,825	0,608	0,876	0,499	0,351

Jours après semis (JAS) ; Diamètre 1 et 2 : diamètre mesuré respectivement à 35 et 98 JAS ; Hauteur 1 et 2 : hauteur mesurée respectivement à 35 et 98 JAS ; TCRd : taux de croissance relative du diamètre au collet et TCRh celui de la hauteur ; NS : non significatif, d0, d5 et d10 correspondent respectivement à la série de distance de 0, 5 et 10 cm entre le point d'apport des engrais phosphatés et le collet de la plante.

3.2. Effet des facteurs sur les rendements en grain et paille du mil

Les variations du rendement en fonction de la source de P, de la distance entre le point d'apport des engrais phosphatés et le collet des plantes, de l'inoculation ainsi que de leurs interactions sont consignées dans les tableaux 5 et 7 par année de production.

En 2022, concernant les sources de P, les résultats d'analyses de variance (ANOVA) ont montré qu'il n'existe aucune différence significative ($p > 0,05$) entre les valeurs moyennes des rendements en grains et en pailles (Tableau 5). Lorsqu'on considère la distance entre le point d'apport des engrais phosphatés et le collet des plantes du mil, l'ANOVA n'a relevé aucune différence significative observée entre les valeurs moyennes des rendements en grains et en pailles. Aussi, au niveau de l'inoculation, aucune différence significative n'a été relevée entre les traitements en ce qui concerne le rendement en pailles. Par contre, pour ce qui est du rendement en grains, une différence significative a été observée entre les parcelles inoculées (742,22 kg.ha⁻¹) et celles non inoculées (604,04 kg.ha⁻¹). Aucun effet d'interaction n'a été observé entre les différents facteurs étudiés.

En 2023, les différentes sources de P n'ont pas influencé statistiquement les rendements en grains et en pailles aussi bien pour le rendement en grains que pour celui en pailles (Tableau 5). Quant au facteur inoculation, les parcelles inoculées ont permis d'enregistrer les valeurs de rendement en grain (1314 kg.ha⁻¹) et en paille (2659 kg.ha⁻¹) les plus élevées comparativement aux parcelles témoins. L'ANOVA a indiqué une différence très hautement significative aussi bien pour le rendement en grains ($p < 0,001$) que pour le rendement en pailles ($p < 0,001$). Par ailleurs, aucun effet d'interaction entre ce facteur et les différentes sources de P n'a été observé. La comparaison des parcelles inoculées et non inoculées a montré que le rendement en grains a varié de 962 kg.ha⁻¹ (d10) à 1599 kg.ha⁻¹ (d5) en présence de l'inoculation, et de 705 kg.ha⁻¹ (d10) à 1029 kg.ha⁻¹ (d5) en absence de l'inoculation (Tableau 6). Le rendement en grains le plus élevé a été obtenu sur le

des autres traitements. Il est suivi du traitement d10 en présence de l'inoculation et d5 en absence de l'inoculation. Le traitement d10 en absence de l'inoculation a enregistré la valeur moyenne du rendement en grains la plus faible. Pour ce qui est du rendement en pailles, la comparaison a indiqué qu'indépendamment de l'inoculation, le traitement d5 (2633 kg.ha⁻¹) a obtenu la valeur la plus élevée comparativement au traitement d10 (1744 kg.ha⁻¹) avec un taux d'accroissement de près de 51 % (Tableau 6). L'ANOVA a montré que les différentes modalités de la distance entre le point d'application des engrais phosphatés et le collet des plantes ont influencé le rendement en paille du mil. L'évaluation de l'interaction entre l'inoculation et les distances entre le point d'apport des engrais phosphatés et le collet des plantes sur le rendement de la culture du mil a montré qu'il y a une interaction positive entre l'inoculation et le traitement d5 et, entre l'inoculation et le traitement d10 (Figure 2). Par ailleurs, cette interaction est plus marquée au niveau du traitement d5 que celui de d10.

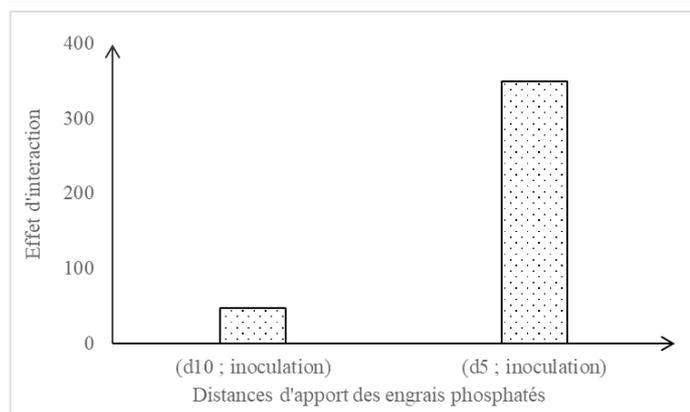
Tableau 5. Variation des rendements en fonction des facteurs en 2022 et 2023

Facteurs	Traitements	Rendement grain		Rendement paille	
		(kg.ha ⁻¹)		(kg.ha ⁻¹)	
		2022	2023	2022	2023
Source	CBKCa	697,87	1057	1042,63	2204
	TSP	724,99	1091	1163,36	2172
	Probabilité	0,427	0,557	0,167	0,762
	Signification	NS	NS	NS	NS
Inoculation	Inoculées	742,22 ^a	1314 ^a	1184,86	2659 ^a
	Non inoculées	604,64 ^b	834 ^b	1021,13	1718 ^b
	Probabilité	0,018	< 0,001	0,145	< 0,001
	Signification	S	THS	NS	THS
Points	d10	647,09	-	1048,07	-
	d5	699,78	-	1157,92	-
d'apports	Probabilité	0,154	-	0,185	-
	Signification	NS	-	NS	-
Interaction	Source* Inoculation	0,876	0,876	0,112	0,500
Interaction	Inoculation*Points d'apports	0,214	-	0,382	-

S : significatif, NS : non significatif, d5 et d10 correspondent respectivement la distance de 5 et 10 cm du collet des plants du mil.

Tableau 6 : Rendements en fonction de l'inoculation et de la distance d'application des engrais phosphatés de 2023

Facteurs	Traitements	Rendement grain (kg.ha ⁻¹)		Rendement paille (kg.ha ⁻¹)
		Inoculées	Non inoculées	-
Points d'apports	d10	1029 ^b	705 ^c	1744 ^b
	d5	1599 ^a	962 ^b	2633 ^a
	Probabilité	0,014		< 0,001
	Signification	S		THS



d5 et d10 correspondent respectivement à la série de distance de 5 et 10 cm entre le point d'apport des engrais phosphatés et le collet de la plante.

Figure 2. Interaction entre l'inoculation et les distances entre le point d'apport des engrais phosphatés et le collet de la plante

3.3. Effet des facteurs sur l'efficacité d'utilisation du phosphore

Le Tableau 7 présente l'effet des différentes sources de P, de l'inoculation et de la distance entre le point d'apport et le collet des plantes du mil sur l'efficacité d'utilisation du P.

Concernant les différentes sources de P, à l'exception de l'efficacité physiologique (PEP), l'engrais de type TSP a enregistré les valeurs moyennes les plus élevées. Les résultats d'ANOVA ont montré qu'il n'existe aucune différence significative ($p > 0,05$) entre les valeurs moyennes pour l'ensemble des indices.

Pour ce qui est de l'inoculation, les comparaisons faites entre les parcelles non inoculées et les celles inoculées ont permis d'obtenir une meilleure AEP, EIP et REP avec des taux d'accroissements de 52,73 %, de 22,75 % et de 98,52 % respectivement. Pour l'ensemble des paramètres d'efficacité, l'analyse de variance a indiqué une différence statistiquement significative au seuil de probabilité de 5 % excepté la PEP. Lorsqu'on considère les différentes distances entre le point d'application des diverses sources de P et le collet de la plante pour l'ensemble des paramètres d'efficacité d'utilisation du P, aucune différence statistiquement significative n'a été révélée. Aussi, pour l'ensemble des facteurs, aucun effet d'interaction n'a été observé.

Tableau 7 Variation de l'efficacité d'utilisation du P en fonction des facteurs

Facteurs	Traitements	AEP	EIP	PEP	REP
		Kg.kg ⁻¹	Kg.kg ⁻¹	Kg.kg ⁻¹	Kg.kg ⁻¹
Source	CBKCa	12,97	27,04	1,11	17,41
	TSP	15,69	31,52	1,07	22,52
	Probabilité	0,271	0,07	0,826	0,555
	Signification	NS	NS	NS	NS
Inoculation	Inoculées	17,32 ^a	32,27 ^a	0,77	26,80 ^a
	Non inoculées	11,34 ^b	26,29 ^b	1,05	13,52 ^b
	Probabilité	0,018	0,018	0,417	0,046
	Signification	S	S	NS	S
Points d'apports	d10	13,19	28,13	1,14	17,16
	d0	15,48	30,43	1,05	22,76
	Probabilité	0,154	0,154	0,212	0,202
	Signification	NS	NS	NS	NS
Interaction	Source*Inoculation	0,876	0,876	0,853	0,781
Interaction	Points d'apports*Inoculation	0,634	0,634	0,468	0,364

S : significatif, NS : non significatif, THS : très hautement significatif, d5 et d10 correspondent respectivement à la série de distance de 5 et 10 cm entre le point d'apport des engrais phosphatés et le collet de la plante. PEP : l'efficacité physiologique, AEP : l'efficacité agronomique, EIP : efficacité interne d'utilisation du P et REP : taux de recouvrement apparent de l'application du P.

4. DISCUSSION

L'inoculation et la distance d'apport de P, n'ont pas montré d'effet sur le diamètre et la hauteur du mil en 2022. Cela pourrait s'expliquer par le fait que le sol utilisé, en jachère depuis 2018, était suffisamment fourni en éléments nutritifs facilement accessibles aux racines des plantes qui assurent convenablement la nutrition des cultures. Cette situation pourrait justifier ainsi l'inefficacité de l'inoculation mycorhizienne sur la croissance en hauteur et le diamètre au collet du mil en 2022. Ces résultats sont similaires à ceux de Haro *et al.* (2016). Ces auteurs ont montré que la plante ne trouvera pas de nécessité d'établir la symbiose avec les mycorhizes si les éléments nutritifs sont disponibles dans le milieu et directement accessibles aux racines de la plante. Également, Bender *et al.* (2019), ont indiqué que la disponibilité du phosphore a tendance à être associée négativement au succès de l'inoculation. Par contre, en 2023, l'inoculation et la distance d'apport de P ont eu un effet significatif sur la hauteur et le diamètre au collet des plantes. Ceci s'expliquerait par une diminution de la teneur du sol en éléments nutritifs facilement accessibles aux racines des plantes du mil. Ainsi, les racines se trouvant dans l'incapacité d'assurer convenablement la nutrition minérale des plants, établissent la symbiose avec les mycorhizes afin d'assurer une nutrition convenable des plants du mil, d'où l'influence de l'inoculation observée. Ces résultats confirment l'idée selon laquelle la réponse des cultures à l'inoculation est tributaire du niveau de phosphore assimilable du sol (Oehl *et al.*, 2017). Ces observations sont en accord avec ceux trouvés par Haro *et al.*, (2017). Ces auteurs ont montré que l'inoculation mycorhizienne stimule la croissance du sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench) et du niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp).

Les résultats obtenus sur les valeurs moyennes des rendements en grain et en paille en 2022 et 2023 ont montré que l'engrais phosphaté de type CBKCa a enregistré des performances comparables à celles du TSP. Ces observations pourraient s'expliquer par le fait que la technique de solubilisation a permis au Burkina Phosphate de mettre à la disposition des racines des plants de mil du P pour assurer

leurs bonnes nutrition. Au Burkina Faso, Nignan *et al.* (2023) ont indiqué qu'au regard des performances similaires du point de vue statistique du CBKCa et du TSP, le CBKCa pourrait constituer une alternative aux engrais chimiques face au problème de carence des sols en P de la zone tropicale d'Afrique de l'Ouest marqué par une abondance d'oxyde et hydroxyde de fer et d'aluminium. En 2022, ni l'inoculation ni le point d'apport des engrais phosphatés n'ont été efficaces sur les valeurs moyennes des rendements en grains et en pailles. Ce résultat pourrait être dû à l'antécédent de la parcelle mise en culture, une jachère de quatre ans. Le sol serait alors suffisamment fourni en éléments nutritifs, au point de disponibiliser quantitativement du P auprès des racines pour assurer une bonne productivité du mil. En 2023, une interaction positive a été observée entre les parcelles inoculées et l'apport des engrais à 5 cm du collet des plants, et entre ces parcelles et le traitement d10. Cependant, cet effet d'interaction est plus marqué au niveau du traitement d5. Ce résultat montre clairement que l'efficacité d'utilisation du P par les cultures est non seulement liée à la présence de l'inoculation, mais également à l'écart entre le point d'application des engrais phosphatés et le collet de la plante de mil. Au Burkina Faso, Haro *et al.* (2020) ont montré que la présence d'inoculum, surtout en situation de déficience en P, une association symbiotique est mise en place afin d'assurer la mise à disposition des racines le P nécessaire pour une meilleure productivité des cultures.

Concernant la source de P, aucune différence significative n'a été observée entre les traitements. Ainsi, le CBKCa, engrais phosphatés localement produit, a présenté des efficacités similaires statistiquement à celles du TSP. Le même constat a été observé avec les différents écarts du point d'apport des engrais phosphatés, avec le traitement d5 ayant enregistré les valeurs les plus élevées. Quant à l'inoculation, excepté le PEP, un effet significatif des plantes inoculées a été noté comparativement aux plantes non inoculées. Ces résultats impliquent que l'inoculation contribue fortement à l'amélioration de l'efficacité d'utilisation du P par les cultures et la productivité du mil dans les agro-écosystèmes de la zone semi-aride où la carence en P des sols est un facteur limitant. En plus en 2023, les résultats ont montré que l'apport des engrais phosphatés à 5 cm du collet de la plantes en présence de l'inoculum permet d'améliorer le rendement en grain du mil. Ainsi, au regard de la faible disponibilité du P assimilable, trouver des systèmes à même d'accroître l'efficacité d'utilisation du P des engrais phosphatés apportés est d'une importance capitale. Ces résultats corroborent ceux de Pairunan *et al.* (1980) qui ont montré que les plantes colonisées par des mycorhizes augmentent l'efficacité des engrais phosphatés de 30 % par rapport aux plantes non mycorhizées.

5. CONCLUSION

L'objectif de l'étude était d'évaluer la réponse du mil à l'inoculation mycorhizienne avec une souche indigène du Burkina Faso suite à une application de deux types d'engrais phosphatés à différents écarts du collet des plantes. De ces résultats, il ressort de façon générale qu'indépendamment de la source de P, l'apport des engrais phosphatés à 5 cm du collet

des plantes du mil (d5) est la meilleure stratégie de gestion du P du sol. Une interaction positive importante de cette stratégie d'apport des engrais phosphatés avec les mycorhizes a été observée. En effet, avec d5, une augmentation de rendement en grains du mil de 79,84 % a été observée par rapport au témoin en situation d'inoculation. Il ressort également que les parcelles inoculées permettent une utilisation efficace du P par rapport au témoin non inoculées. Dans les agro-écosystèmes caractérisés par une déficience en P, l'inoculation mycorhizienne combinée à un apport d'engrais phosphaté à 5 cm du collet des plantes permettra d'améliorer l'utilisation du P par le mil. Cela permettra de réduire les risques de pollution liée à l'apport des engrais phosphatés. Ainsi, le CBKCa apporté à 5 cm du collet des cultures en présence d'inoculum peut être promu en remplacement du TSP comme stratégie de gestion de la fertilisation phosphatée et d'intensification agricole. Des recherches complémentaires sur les impacts de la teneur des sols en phosphore et du type de sols sur les performances des inoculant mycorhizien pourraient permettre de mieux comprendre les interactions entre les microorganismes et la composante sol-plante.

RÉFÉRENCES

- Bender S.F., Schlaeppi K., Held A., and Van Der Heijden M.G.A. (2019). Establishment success and crop growth effects of an arbuscular mycorrhizal fungus inoculated into Swiss corn fields. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 273, 13-24. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.12.003>
- Dikir W., and Abayechaw D. (2022). Effects of Phosphorus Fertilizer on Agronomic, Grain Yield and Other Physiological Traits of Some Selected Legume Crops. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*. <https://doi.org/10.7176/JBAH/12-12-01>
- Djatta M., Laminou Manzo O., Macoumba Diouf P. and Diop T. (2014). Effets de l'inoculation mycorhizienne sur le sesame (*Sesamum indicum* L.) en conditions naturelles. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7(5), 2050. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v7i5.22>
- Dobermann A. (2007). *Nutrient use efficiency—Measurement and management*.
- Bender S.F., Schlaeppi K., Held A., and Van Der Heijden M.G.A. (2019). Establishment success and crop growth effects of an arbuscular mycorrhizal fungus inoculated into Swiss corn fields. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 273, 13-24. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.12.003>
- Dikir W., and Abayechaw D. (2022). Effects of Phosphorus Fertilizer on Agronomic, Grain Yield and Other Physiological Traits of Some Selected Legume Crops. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*. <https://doi.org/10.7176/JBAH/12-12-01>
- Djatta M., Laminou Manzo O., Macoumba Diouf P. and Diop T. (2014). Effets de l'inoculation mycorhizienne sur le sesame (*Sesamum indicum* L.) en conditions naturelles. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7(5), 2050. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v7i5.22>

- Dobermann A. (2007). *Nutrient use efficiency—Measurement and management*.
- Garg, P., & Welch, L. F. (1967). *GI rowth and Phosphorus Uptake by Corn as Influenced by Phosphorus Placement*. 3.
- George T.S., Hinsinger P. and Turner B.L. (2016). Phosphorus in soils and plants – facing phosphorus scarcity. *Plant and Soil*, 401(1-2), 1-6. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2846-9>
- Haefele S.M., Nelson A. and Hijmans R.J. (2014). Soil quality and constraints in global rice production. *Geoderma*, 235-236, 250-259. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.07.019>
- Reijnders, L. (2014). Phosphorus resources, their depletion and conservation, a review. *Resources, Conservation and Recycling*, 93, 32-49. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.09.006>
- Haro H., Kadidia S.B., Fanta B. and Barkissa F. (2017). Effect of native arbuscular mycorrhiza fungi inocula on the growth of Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] in three differents agro ecological zones in Burkina Faso. *Journal of Applied Biosciences*, 108(1), 10553. <https://doi.org/10.4314/jab.v108i1.8>
- Haro H., Sanon K.B., Le Roux C., Duponnois R. and Traoré A.S. (2017). Improvement of cowpea productivity by rhizobial and mycorrhizal inoculation in Burkina Faso. *Symbiosis*, 74(2), 107-120. <https://doi.org/10.1007/s13199-017-0478-3>
- Haro H., Sanon K., Diop I., Kane A., Dianda M., Houngnandan P., Neyra M. et Traore A. (2013). Réponse à l'inoculation mycorrhizienne de quatre variétés de niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] cultivées au Burkina Faso et au Sénégal. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(5), 2097-2112. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v6i5.18>
- Haro H., Sanon K., Krasova-Wade T., Kane A., N'Doye I. and Traore, A. (2015). Réponse à la double inoculation mycorrhizienne et rhizobienne du niébé (variété, K VX396-4-5-2D) cultivé au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(3), 1485. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i3.31>
- Haro H., Semde K., Bahadio K. et Sanon K.B. (2020). Effet de l'inoculation mycorrhizienne avec des souches des champignons mycorrhiziens arbusculaires sur la croissance de *Mucuna pruriens* (L.) DC en condition contrôlée. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14(3), 1065-1073. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v14i3.32>
- Holford I.C.R. (1997). Soil phosphorus : Its measurement, and its uptake by plants. *Soil Research*, 35(2), 227. <https://doi.org/10.1071/S96047>
- IUSS Working Group WRB. (2014). *World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. FAO.
- Khaliq A., Perveen S., Alamer K.H., Zia Ul Haq M., Rafique Z., Alsudays I.M., Althobaiti A.T., Saleh M.A., Hussain S. and Attia H. (2022). Arbuscular Mycorrhizal Fungi Symbiosis to Enhance Plant–Soil Interaction. *Sustainability*, 14(13), 7840. <https://doi.org/10.3390/su14137840>
- Mallarino R., Henegar C., Mirasierra M., Manceau M., Schradin C., Vallejo M., Beronja S., Barsh G.S. and Hoekstra H.E. (2016). Developmental mechanisms of stripe patterns in rodents. *Nature*, 539(7630), 518-523. <https://doi.org/10.1038/nature20109>
- Nadeem F., Nawaz A. and Farooq, M. (2019). Crop Rotations, Fallowing, and Associated Environmental Benefits. In F. *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.197>
- Nakamura S., Kanda T., Imai T., Sawadogo J. and Nagumo F. (2019). Solubility and application effects of African low-grade phosphate rock calcinated with potassium carbonate. *Soil Science and Plant Nutrition*, 65(3), 267-273. <https://doi.org/10.1080/00380768.2019.1598236>
- Nignan I., Ouedraogo J., Nakamura S., Serme I., et Coulibaly K. 2023. Effets du mode d'application d'engrais phosphatés (CBKCa et TSP) sur la productivité du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br) au centre ouest du Burkina Faso. 17(6) : 2312-2324. DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v17i6.14>
- Oehl B., Schaffer L. M. and Bernauer T. (2017). How to measure public demand for policies when there is no appropriate survey data? *Journal of Public Policy*, 37(2), 173-204. <https://doi.org/10.1017/S0143814X16000155>
- Ouédraogo E., Brussaard L. and Stroosnijder L. (2007). Soil fauna and organic amendment interactions affect soil carbon and crop performance in semi-arid West Africa. *Biology and Fertility of Soils*, 44(2), 343-351. <https://doi.org/10.1007/s00374-007-0211-0>
- Pairunan A.K., Robson A.D. and Abbott L.K. (1980). The effectiveness of vesicular-arbuscular mycorrhizas in increasing growth and phosphorus uptake of subterranean clover from phosphorus sources of different solubilities. *New Phytologist*, 84(2), 327-338. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04433.x>
- Reijnders, L. (2014). Phosphorus resources, their depletion and conservation, a review. *Resources, Conservation and Recycling*, 93, 32-49. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.09.006>
- ZOUNGRANA A., ZI Y., SANOU A.K., et SAVADOGO W.P. (2022). Comparaison de l'effet de deux champignons mycorrhiziens arbusculaires sur la croissance et la productivité du sésame (*Sesamum indicum* L.) au Burkina Faso. <http://indexmedicus.afro.who.int/> Int. J. Biol. Chem. Sci. 16(1): 201-212. DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v16i1.17>.
- Syers K., Bekunda M., Cordell D., Corman J., Johnson J., Rosemarin A. and Salcedo, I. (2011). *Phosphorus and food production*. UNEP year book.

Quelle variété de manioc (*Manihot esculenta Crantz*) est la plus adaptée aux zones sèches de production agricole ? Une étude agromorphologique des variétés de manioc dans la Région du PORO, au nord de la Côte d'Ivoire.

THIÉMÉLÉ Deless Edmond Fulgence ^{1*}, KONÉ Daouda ¹, NOUMOUHA Epa N'da Ghislain ²

Résumé

L'objectif de cette étude était d'évaluer sur le plan agromorphologique des variétés de manioc afin d'identifier des candidats potentiels capables d'assurer un bon rendement en zones sèches. Quinze variétés de manioc cultivées en Côte d'Ivoire ont été caractérisées sur la base de 8 variables quantitatives. L'analyse descriptive a montré des différences entre les variétés pour toutes les variables étudiées. Une analyse en composante principale a confirmé cette variabilité morphologique à hauteur de 81,81 %. La Classification Hiérarchique Ascendante a permis de classer les variétés en 3 groupes de diversité. Le groupe 1 comportait des variétés ayant des hauteurs élevées de première ramification des tiges, des longueurs de pétiole et de lobe central élevées, un nombre et un poids de racines tubéreuses par pied et des rendements faibles. Le groupe 2 renfermait des variétés ayant de petites hauteurs de première ramification des tiges, des longueurs de pétiole et de lobe central de petites tailles, un nombre et un poids de racines tubéreuses par pied et des rendements moyens. Le groupe 3 était composé de variétés ayant des hauteurs moyennes de première ramification des tiges, des longueurs de pétiole et de lobe central de taille moyenne. Ce groupe renfermait également des variétés avec un nombre et un poids de racines tubéreuses par pied et des rendements élevés. Le dernier groupe possède des variétés ayant des rendements autour de 20 t.ha-1. Ces variétés représentent de potentiels candidats pour la culture du manioc en zones sèches et des géniteurs potentiels pour un programme d'amélioration génétique.

Mots clés : Manioc, diversité agromorphologique, candidats potentiels, zones sèches, Côte d'Ivoire.

Abstract

Which cassava variety (*Manihot esculenta Crantz*) should be grown in the dry production zone in Côte d'Ivoire? Agromorphological evaluation of a diversity of cassava varieties in the PORO region of Côte d'Ivoire

The aim of this study was to evaluate cassava varieties based on agromorphological characters to identify potential candidates able to high yielding in dry zones. Fifteen cassava varieties grown in Côte d'Ivoire were characterized based on 8 quantitative variables. Descriptive analysis showed differences between varieties for all the variables studied. Principal component analysis confirmed this morphological variability at 81.81%. Hierarchical ascending classification enabled us to classify the varieties into 3 diversity groups. Group 1 includes varieties with high first stem branching heights, petiole and central lobe lengths, a high number and weight of tuberous roots per plant, and low yields. Group 2 contains varieties with small first branch heights of stems, small petiole and central lobe lengths, number and weight of tuberous roots per plant and average yields. Group 3 is composed of varieties with average of first stem heights, petiole lengths and central lobe lengths. This group also includes varieties with a high number and weight of tuberous roots per plant and high yields. The last group has varieties with yields around 20 t.ha-1. These varieties represent potential candidates for the cultivation of cassava in dry areas and potential parents for cassava breeding program.

Keywords: Cassava, agromorphological diversity, potential candidates, dry zones, Ivory Coast.

¹Université Peleforo GON COULIBALY, UFR Sciences Biologiques, Département de Biochimie-Génétique, Unité Pédagogique et de Recherche de Génétique, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

²Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Abidjan, Km

17, Route de Dabou, 01 B.P. 1470 Abidjan 01, Station de Recherche BP 440 Man, Côte d'Ivoire.

* Auteur pour correspondance : delessthiemele@gmail.com / +225 07 09 79 14 16

1. Introduction

Le manioc (*Manihot esculenta Crantz*) est l'une des principales cultures dans de nombreux pays à travers le monde et plus particulièrement en Afrique de l'Ouest (N'Zué *et al.*, 2014 ; Agré *et al.*, 2015). Il est une excellente source de calories et constitue la base de l'alimentation de près d'un milliard de personnes dans les régions tropicales (Macrae *et al.*, 1993). En Côte d'Ivoire, avec une production annuelle d'environ 5,6 millions de tonnes (Faostat, 2022), le manioc est la deuxième culture vivrière produite et consommée après l'igname (N'zué *et al.*, 2014). Il contribue à la sécurité alimentaire et nutritionnelle, à l'amélioration des revenus et des conditions socioéconomiques de tous les acteurs de la chaîne des valeurs, en particulier les femmes qui sont très actives dans la commercialisation des tubercules frais, la transformation et la commercialisation des produits dérivés (attiéké, pâte, placali, farine, amidon, etc.) (Mendez del Villar *et al.*, 2017 ; Vernier *et al.*,

2018). On distingue deux types de manioc. Des variétés de manioc doux, consommées en bouillie ou en pâte mélangée avec de la banane plantain, et des variétés de manioc amer que l'on utilise pour la fabrication de placali (pâte pressée) et l'attiéké. Malgré cette importance pour la sécurité alimentaire et la lutte contre la pauvreté, les rendements du manioc sont faibles pour couvrir les besoins alimentaires de la population en perpétuelle croissance (Kouadio *et al.*, 2023). Plusieurs raisons expliquent cette baisse de rendement. Parmi ces raisons figurent le faible niveau de fertilité des sols, l'utilisation des variétés peu productives et sensibles aux maladies (viroses, anthracnose, pourritures racinaires) et aux ravageurs (acariens, cochenilles, nématodes), aux aléas climatiques et une réduction des terres cultivables en zones de production à cause de l'urbanisation galopante (Akanza et Yao-Kouamé, 2011 ; Thiémélé *et al.*, 2023). En Côte d'Ivoire, le manioc est cultivé principalement dans le Sud-Est, le Sud, le Centre, le Centre-Ouest,

l'Ouest et très peu au Nord du pays considéré comme une zone marginale de production à cause de sa faible pluviométrie (Perrin, 2015). Pourtant, la région du Poro (Nord de la Côte d'Ivoire) qui est une zone de faible pluviométrie regorge d'énormes potentialités qui pourraient permettre une culture de manioc. Cultiver des variétés de manioc à haut rendement adaptées aux conditions climatiques du nord de la Côte d'Ivoire pourrait accroître la production nationale et contribuer à l'atteinte de la sécurité alimentaire d'autant plus que des études ont montré que le manioc pourrait s'adapter à la sécheresse (El-sharkawy, 1993). La Côte d'Ivoire dispose d'une grande diversité du manioc, à la fois dans les zones cultivées par les agriculteurs et dans les centres de recherche (Kouakou *et al.*, 2023). Cependant, cette diversité n'est pas explorée pour trouver des variétés candidates à haut rendement capables de se développer en zones sèches. Aussi, aucune étude n'a été réalisée en Côte d'Ivoire pour mettre en évidence des variétés de manioc adaptées aux conditions des zones marginales de production. L'identification des variétés candidates peut débuter par une caractérisation agromorphologique comme déjà montrée dans plusieurs études (Avivi *et al.*, 2020).

Ainsi, la présente étude avait pour objectif d'évaluer sur le plan agromorphologique des variétés de manioc afin d'identifier des candidats potentiels capables d'assurer un bon rendement en zones sèches.

2. Matériel et méthodes

2-1. Site d'expérimentation

L'étude a été conduite à la station de recherche du jardin botanique de l'Université Peleforo GON COULIBALY (UPGC) à Korhogo (Région du Poro). La parcelle expérimentale est localisée à la longitude 5°38 Ouest et latitude 9°26 Nord et située à 350 mètres d'altitude. Le climat est du type soudanien, avec une petite saison de pluie qui s'étend de juin à septembre et une longue saison sèche d'octobre à mai. La figure 1 montre les conditions climatiques lors de l'expérimentation. La température moyenne et la précipitation annuelle sont respectivement de 27,4°C et 1190 mm d'eau. La végétation est de type savane arborée et les sols rencontrés sont les ferrisols (Dabin, 1960).

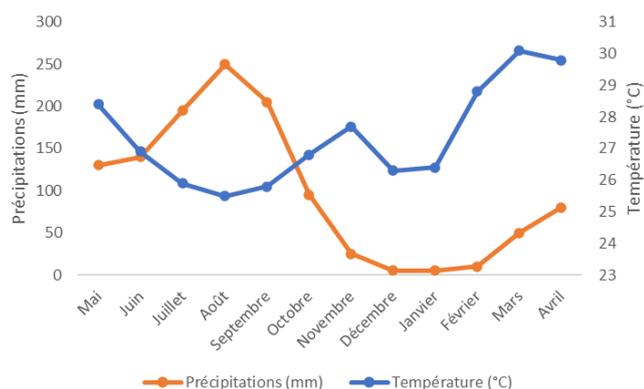


Figure 1 : Conditions climatiques durant l'expérimentation.

2-2. Matériel végétal

Le matériel végétal était constitué de 15 variétés de manioc cultivées en Côte d'Ivoire et collectées auprès des producteurs dans différentes zones de production (Tableau 1). Le matériel est composé de certaines variétés améliorées et développées par la recherche et des variétés cultivées en milieu paysan en zone de production de manioc. Leur cycle végétatif est de 12 mois, avec des rendements potentiels variant entre 15 et 45 t/ha. La variété

« Bonoua Kgo » considérée comme témoin était la variété cultivée localement dans la zone marginale de production.

2-3. Méthodes

2-3-1. Dispositif expérimental

Tableau 1 : Caractéristiques des variétés de manioc cultivées en Côte d'Ivoire

Variété	Type de variété	Origine	Cycle (mois)	Rendement moyen (t/ha)	Goût	Usage courant
Bocou 1	Améliorée	CNRA*	12	20	Doux	Attiéké et Foutou
Bocou 2	Améliorée	CNRA*	12	20	Doux	Attiéké
IM 84	Améliorée	IITA*	12	30	Doux	Attiéké et Foutou
TMS4(2)1425	Améliorée	IITA*	12	30	Doux	Attiéké et Foutou
Yavo (TME09)	Améliorée	IITA*	12	30	Doux	Attiéké et Foutou
Accra Bankye	Traditionnelle	Dabou	12	-	Doux	Attiéké et Foutou
Yacé	Traditionnelle	Bonoua	12	20	Amer	Attiéké
Bonoua	Traditionnelle	Bonoua	12	15	Doux	Foutou
Bonoua kgo	Traditionnelle	Korhogo	12	15	Doux	Foutou
Bahiri	Traditionnelle	Aboisso	12	-	Amer	Attiéké
Anader	Traditionnelle	Grand Lahou	12	-	Doux	Attiéké et Foutou
Zoglo	Traditionnelle	Gagnoa	12	-	Doux	Attiéké et Foutou
Tambou	Traditionnelle	Aboisso	12	-	Doux	Attiéké et Foutou
6 mois	Traditionnelle	Bonoua	11	-	Doux	Attiéké et Foutou
Sinzi	Traditionnelle	Aboisso	12	-	Amer	Attiéké

* CNRA : Centre National de Recherche Agronomique de Côte d'Ivoire ; IITA : Institut International d'Agriculture Tropicale (Nigeria)

L'essai a été conduit dans un dispositif expérimental en bloc de Fisher complètement randomisé avec trois répétitions sur une superficie de 1595 m² (55 m x 29 m). Chaque bloc a été divisé en 15 parcelles élémentaires et chaque parcelle élémentaire correspond à une variété. La parcelle élémentaire a une superficie de 25 m² (5 m x 5 m) et comprend un total de 25 pieds utiles. La densité de plantation a été de 10 000 pieds/ha, soit un écartement de 1 m x 1 m entre plants et entre lignes. Les parcelles ont été distantes de 1 m et les blocs de 2 m. Les boutures saines de 20 cm de long avec 4 à 6 nœuds ont été plantées horizontalement à une profondeur de moins de 10 cm. En dehors du sarclage, aucun autre traitement n'a été réalisé. La récolte des racines tubéreuses a été effectuée à 12 mois après la plantation.

2-3-2. Collecte des données

Pour la collecte des données, les descripteurs agromorphologiques utilisés sont ceux proposés par Fukuda *et al.* (2010). Au total huit variables quantitatives prenant en compte la tige, les feuilles, et les racines tubérisées ont été observées à 6 et 12 mois après la plantation (MAP) (Tableau 2). Les variables quantitatives ont été mesurées sur les 25 plants utiles. Afin d'éviter les effets de bordure, ces plants utiles ont été choisis dans la partie centrale de chaque parcelle élémentaire. Après la récolte (12 MAP), le rendement (RDT) en racines tubéreuses a été obtenu par la formule suivantes :

$RDT (t \cdot ha^{-1}) = \frac{MPTFR}{SSP}$, où MPTFR : Moyenne du poids total des racines tubéreuse fraîches (tonne/t) et SSP : Surface de la parcelle élémentaire (hectare/ha)

Tableau 2 : Caractères agromorphologiques mesurés au cours de l'expérimentation

Caractères	Codes	Unité	Méthodes de mesure
Hauteur de la Plante (12 MAP)	HPL	cm	Déterminer à l'aide d'un mètre ruban gradué. Mesurer la base du tronc à la cime
Hauteur de la première ramification (12 MAP)	HRA1	cm	Mesurer la hauteur de la première ramification de la tige à l'aide d'un mètre ruban
Nombre de lobe (6 MAP)	NDLO		Déterminer en dénombrant le nombre de lobe
Longueur du lobe central (6 MAP)	LLOC	cm	Déterminer à l'aide d'un mètre ruban. Mesurer le lobe qui se trouve au milieu de la feuille
Longueur du pétiole (6 MAP)	LPE	cm	Déterminer à l'aide d'un mètre ruban gradué. Mesurer à partir du milieu de la feuille au bout du pétiole
Nombre de racines tubéreuses par Pied (12 MAP)	NTP		Compter les racines après la récolte
Poids de racines tubéreuses par pied (12 MAP)	PTP	kg	Peser à l'aide d'une balance tous les tubercules
Rendement (12 MAP)	RDT	t. ha ⁻¹	Calculer à partir de la moyenne du poids des racines tubéreuses des 25 plants sur les 25 m ²

2-3-3. Analyse statistique des données

Les données collectées ont été analysées au moyen du logiciel du logiciel XLSTAT-Pro version 2019. L'analyse statistique a concerné la statistique descriptive qui a permis de déterminer les moyennes, le minimum et le maximum, l'écart type et le coefficient de variation. Le coefficient de variation a été considéré élevé lorsqu'il était supérieur à 20 %. Les données ont été ensuite soumises à une analyse de la variance (ANOVA) au seuil de 5 % dans la perspective d'identifier la présence ou non de différences significatives entre les moyennes des traitements. Lorsque les effets étaient significatifs, un test de Student Newman Keul (SNK) a été réalisé pour séparer les moyennes. La matrice des données agromorphologiques a servi à réaliser une Analyse en Composantes Principales (ACP). Les variables contribuant le plus à la formation des axes ont été définies comme variables actives et le reste comme variables supplémentaires à la suite d'une première analyse. L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été conduite sur la base de la corrélation de Pearson qui a permis d'évaluer la relation existante entre les variables deux à deux. Une Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) a ensuite permis de classer les variétés en groupes homogènes selon la méthode Ward en utilisant un indice de similarité de la distance Euclidienne. Enfin, une Analyse factorielle discriminante (AFD) a été réalisée pour apprécier la pertinence des classes formées par CHA.

3. Résultats

3-1. Variabilité des caractères agromorphologiques des variétés de manioc

L'analyse descriptive des variables mesurées sur les variétés montre une variabilité au sein de la collection de manioc. La plupart des variables présente un coefficient de variation (CV) élevé variant entre 18,20 % et 70,10 %. En effet, certaines variables ont présenté une forte hétérogénéité se traduisant par des coefficients de variation élevés (CV > 20%). Ces variables sont la hauteur des plants (CV= 28,80 %), la hauteur de la première ramification (CV= 70,10 %), le nombre de lobe nombre (CV= 27,30 %), le nombre de racines tubéreuses par pied (CV= 43,70 %), le poids des racines tubéreuses par pied (CV= 56,20 %) et le rendement en racines tubéreuses (CV= 56,20 %).

Les résultats de l'analyse de variance montrent une différence significative ($p < 0,001$) entre les variétés en ce qui concerne les variables comme la hauteur de la plante (HPL), la hauteur de la première ramification (HRAMI), le nombre de lobe (NDLO), la longueur du lobe central (LLOC), la longueur du pétiole (LPE), le poids de racines tubéreuses par pied (PTP), le nombre de racines tubéreuses par pied (NTP) et le rendement (Tableau 3). Tous les

Tableau 3 : Caractéristiques agromorphologiques des variétés de manioc évaluées au cours de l'expérimentation

Variétés	HRAMI (cm)	NDLO	LLOC (cm)	LPE (cm)	HPL (cm)	NTP	PTP (kg)	RDT (t.ha-1)
IM84	90,11± 2,02f	9,00 ± 0,71a	16,22± 1,56bc	19,22± 1,48cd	277,11± 1,05b	9,00± 1,22a	3,24 ± 0,12a	32,44 ± 1,24a
Bocou 1	325,11± 1,05a	7,33 ± 0,50bc	18,22 ± 0,83a	20,00± 1,12c	342,67± 2,92a	7,00± 0,71bc	2,52± 0,20b	25,22± 1,99b
Yavo	190,78 ± 3,53b	8,22± 0,83ab	15,11± 1,05cd	25,50± 1,22a	235,22± 0,83a	8,00± 0,87ab	3,17± 0,15a	31,67± 1,50a
TMS4(2)1425	100,44± 1,13e	8,89± 0,93a	11,78± 2,05f	17,67± 2,12de	215,44± 3,91f	8,89± 1,54a	3,32± 0,18a	33,22± 1,79a
Bocou 2	87,55± 3,28f	7,22± 1,09bc	12,33± 1,73f	19,00± 1,87cd	265,22± 2,59d	7,00± 1,12bc	2,30± 0,15c	23,00± 1,50c
Bonoua	60,11± 1,27g	6,00± 1,00cd	15,11± 0,93cd	19,00± 1,87cd	233,22 ± 2,68e	6,11± 0,93cd	1,51± 0,15e	15,11± 1,54e
Accra Bankye	30,22± 1,30i	5,11± 1,27d	15,00 ± 0,93cd	17,00± 1,87e	271,22± 3,42c	5,11± 0,93cd	1,51± 0,15e	15,11± 1,54e
Yacé	25,22± 1,64j	6,33± 1,22cd	13,18± 0,50ef	16,00± 1,12ef	195,22± 2,59i	6,00± 1,12cd	2,46 ± 0,15b	24,56 ± 1,51b
Bahiri	88,11± 2,57f	6,11 ± 1,45cd	9,11± 1,0 5g	15,00 ± 1,32f	180,44± 5,05j	6,11± 1,05cd	2,08± 0,35d	20,78± 3,53d
Zoglo	90,00± 2,06f	5,00 ± 1,00d	17,00 ± 1,12b	22,11± 1,27b	100,11± 2,42m	2,11 ± 0,78e	0,31± 0,14i	3,11 ± 1,36i
Anader	89,11± 2,85f	5,11± 1,27d	15,00 ± 1,80cd	17,00 ± 1,00e	210,00± 1,32j	2,11 ± 0,9 e	0,61± 0,11h	6,11 ± 1,05 h
Bonoua kgo	110,00 ± 1,41d	5,11 ± 1,27d	13,00 ± 1,12ef	16,56± 0,81e	165,11 ± 2,62k	5,11 ± 0,78d	1,30± 0,15f	13,00± 1,50f
Tambou	88,00± 2,06f	5,11 ± 1,27d	13,11 ± 1,27ef	17,00 ± 1,12e	210,00± 1,12 j	3,11 ± 0,95e	0,90± 0,10g	9,00 ± 1,00g
6 mois	36,11± 1,27h	6,11 ± 1,05cd	9,52 ± 0,33g	12,11± 0,60g	200,11± 2,32 h	6,11 ± 0,60cd	1,40± 0,11ef	14,00± 1,12ef
Pr	120,00± 1,12c	5,00 ± 1,32d	14,00± 0,71de	17,00± 0,87e	105,11± 1,76l	2,11 ± 0,60e	0,30± 0,07i	3,00± 0,71i
P>F	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

HRAMI : hauteur de la première ramification ; NDLO : Nombre de lobe ; LLOC : longueur du lobe central ; LPE : longueur du pétiole ; HPL : hauteur de la plante ; NTP : nombre de racines tubéreuses par pied ; PTP : poids de racines tubéreuses par pied ; RDT : Rendement. Les moyennes suivies des mêmes lettres à l'intérieur d'une colonne ne sont pas significativement différentes à 5 % selon le test de Newman-Keuls.

caractères discriminent les variétés étudiées au seuil de 5%.

3-1-1. Hauteur des plants : La moyenne de la hauteur des plantes a varié de 100,11 ± 2,42 cm pour les variétés de petite taille (Variété Zoglo) à 342,67 ± 2,92 cm pour les variétés de grande taille (variété Bocou 1). La différence entre les variétés a été significative ($p < 0,05$) en ce qui concerne la hauteur (Tableau 3).

3-1-2. Hauteur de la première ramification : Une différence hautement significative a été observée ($p < 0,001$) entre les variétés. La moyenne de la hauteur de la première ramification a varié de 25,22 ± 1,64 à 325,11 ± 1,05 cm, La variété Yacé a eu la plus petite hauteur et la variété Bocou 1 a eu la hauteur la plus grande (Tableau 3).

3-1-3. Nombre de lobe : Une différence hautement significative a été observée ($p < 0,001$) entre les variétés en ce qui concerne le nombre de lobes. La moyenne du nombre de lobe a varié de 5,00 ± 1,00 à 9,00 ± 0,71a. La variété Zoglo a eu le nombre de lobes le plus faible et la variété IM84 a eu le plus grand nombre (Tableau 3).

3-1-4. Longueur du lobe central : La longueur du lobe central a mis en évidence des différences significatives entre les variétés. La moyenne de la longueur du lobe central a varié de 9,11 ± 1,0 5 pour les variétés ayant un faible nombre comme la variété Bahiri à 18,22 ± 0,83 cm, pour les variétés ayant un nombre élevé comme la variété Bocou 1 (Tableau 3).

3-1-5. Longueur du pétiole : Une différence hautement significative a été également mise en évidence ($p < 0,001$) entre les variétés en ce qui concerne la longueur du pétiole. La longueur moyenne du pétiole a varié de 12,11 ± 0,60 cm pour la variété 6 mois à 25,50 ± 1,22 cm pour la variété Yavo (Tableau 3).

3-1-6. Nombre de racines tubéreuses par pied : La moyenne du nombre de racines tubéreuses par pied était comprise entre 2,11 ± 0,60 pour les variétés peu productives comme Sinzi et 9,00 ± 1,22 pour les variétés productives comme IM84 (Tableau 3).

3-1-7. Poids de racines tubéreuses par pied : Le poids moyen des racines tubéreuses par pied a varié de 0,30 ± 0,07 kg à 3,32± 0,18 kg. La variété TMS4(2)1425 a eu le poids de racines tubéreuses le plus élevé contre la variété Sinzi qui a eu le poids le faible. Une différence hautement significative a été mise en évidence ($p < 0,001$) entre les variétés en ce qui concerne le poids de racines tubéreuses par pied (Tableau 3).

3-1-8. Rendement : Une différence de rendement hautement significative ($p < 0,001$) entre les variétés a été mise en évidence. Les rendements moyens ont varié de 3,00 ± 0,71 à 33,22 ± 1,79 t.ha-1. Les rendements les plus élevés ont été observés avec les variétés améliorées comme TMS4(2)1425 (33,22 ± 1,79 t.ha-1), IM 84 (32,44 ± 1,24 t.ha-1) et Yavo (31,67 ± 1,50 t.ha-1). Les variétés Bocou 1 (25,22 ± 1,99 t.ha-1), Yacé (24,56 ± 1,51 t.ha-1), Bocou 2 (23,00 ± 1,50 t.ha-1), Bahiri (20,78 ± 3,53 t.ha-1), Accra Bankye (15,11 ± 1,17 t.ha-1), Bonoua (15,11 ± 1,54 t.ha-1), 6 mois (14,00 ± 1,12 t.ha-1) ont produit des rendements significativement supérieurs à la variété témoin Bonoua kgo (13,00 ± 1,50 t.ha-1). En outre, la variété témoin Bonoua kgo a eu un rendement supérieur aux variétés Tambou (9,00 ± 1,00 t.ha-1), Anader (6,11 ± 1,05 t.ha-1), Zoglo (3,11 ± 1,36 t.ha-1) et Sinzi (3,00 ± 0,71 t.ha-1) (Tableau 3).

3-3. Analyse des corrélations entre les caractères mesurés

Les coefficients de corrélation obtenus entre les caractères ont varié de -0,042 à 1,000 au seuil de 5%. L'analyse des corrélations entre caractères a révélé des liaisons positives et

significatives entre le nombre moyen de racines tubéreuses par pied (NTP), le poids moyen des racines tubéreuses (PTP) et le rendement en racines tubéreuses (RDT). La corrélation entre le nombre moyen de racines tubéreuses par pied (NTP) et le poids moyen des racines tubéreuses par pied (PTP) et le rendement a été respectivement de 0,96 et 0,96. La plus forte corrélation a été observée entre le poids de racines tubéreuses par pied et le rendement en racines tubéreuses ($r = 1,00$). Aussi, le nombre de lobe (NDLO) a été significativement et positivement corrélé à la hauteur de plante ($r = 0,54$), au nombre moyen de racines tubéreuses par pied (NTP, $r = 0,89$), au poids moyen des racines tubéreuses (PTP, $r = 0,92$), et au rendement en racines tubéreuses ($r = 0,92$). La hauteur de la plante (HPL) a été aussi significativement et positivement corrélée au nombre moyen de racines tubéreuses par pied (NTP, $r = 0,62$), au poids moyen des racines tubéreuses par pied (PTP, $r = 0,62$), et au rendement en racines tubéreuses (RDT, $r = 0,62$). Enfin, la longueur du lobe central (LLOC) a été significativement et positivement corrélée à la longueur du pétiole ($r = 0,68$).

3-4. Classification des variétés de manioc

3-4-1. Analyse en Composantes Principales (ACP)

La variabilité entre les variétés a été appréciée par l'Analyse en Composante Principale (ACP) à partir des caractères agromorphologiques. Il ressort de cette analyse que les deux premiers axes ont eu des valeurs propres supérieures à 1 et exprimant 81,81 % de la variabilité totale ; 56,61 % pour l'axe 1 et 25,20 % pour l'axe 2 (Tableau 4). Ainsi, l'axe 1 qui exprime 56,61 % de variabilité est principalement défini par 5 des variables : Nombre de lobe (NDLO), Hauteur de la plante (HPL), Nombre de racines tubéreuses par pied (NTP), Poids de racines tubéreuses par pied (PTP) et Rendement (RDT). Les variables impliquées dans la formation de cet axe révèlent qu'il est caractéristique de la vigueur et du rendement des plantes. L'axe 2 qui exprime 25,19 % de la variabilité totale est corrélé à la hauteur de la première ramification (HRAM1), à la longueur du lobe central (LLOC) et à la longueur du pétiole (LPE). Cet axe traduit en majorité des caractéristiques liées au développement de la feuille (Figure 2). La représentation des individus dans le plan factoriel 1 et 2 de l'ACP met en évidence trois grands groupes : le groupe 1 (G1) qui comporte les variétés avec de grande taille et des rendements élevés, le groupe 2 (G2) comportant les variétés avec des tailles réduites et de faibles rendements et le groupe 3 (G3) représentant les variétés avec des feuilles réduites et des rendements moyens (Figure 2).

Tableau 4 : Matrice des valeurs propres et corrélations des variables avec les 2 premiers axes factoriels issues de l'Analyse en Composante

	Axe 1	Axe 2
Valeur Propre	4,529	2,016
%Variabilité	56,614	25,198
%Cumulée	56,614	81,812
<hr/>		
Hauteur de la première ramification (HRAM1)	0,196	0,428*
Nombre de lobe (NDLO)	0,883**	0,012
Longueur du lobe central (LLOC)	0,026	0,811**
Longueur du pétiole (LPE)	0,171	0,557**
Hauteur de la plante (HPL)	0,535**	0,011
Nombre de racines tubéreuses par pied (NTP)	0,864**	0,098
Poids de racines tubéreuses par pied (PTP)	0,927**	0,050
Rendement (RDT)	0,927**	0,050

Les valeurs en gras sont les corrélations significatives au seuil de 5% : * : significatif ; ** : hautement significatif

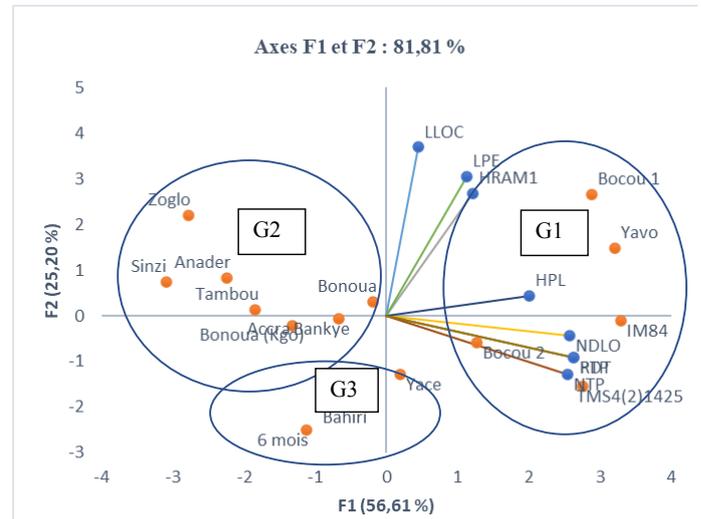


Figure 2 : Projection des individus dans le plan formé par les axes 1 et 2
3-4-2. Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)

La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) réalisée à partir des moyennes des variables sur la base de la distance euclidienne avec la méthode de Ward comme critère d'agrégation révèle trois groupes agromorphologique (Figure 3). Le groupe 1 comporte 5 variétés, le groupe 2 comprend 3 et le groupe 3 en comporte 7.

Les variétés du groupe 1 présentent des hauteurs de première ramification des tiges, des longueurs de pétiole et de lobe central élevés. Au sein de ce groupe, se classent des variétés avec des hauteurs de tiges, un nombre de racines tubéreuses par pied, un poids de racines tubéreuses par pied et des rendements faibles.

Le groupe 2 renferme des variétés ayant de petites hauteurs de première ramification des tiges, des longueurs de pétiole et de lobe central de petites tailles. Ce groupe comprend aussi, des variétés avec des hauteurs de tiges, un nombre de racines tubéreuses par pied, un poids de racines tubéreuses par pied et des rendements moyens.

Le groupe 3 est composé de variétés ayant des hauteurs moyennes de première ramification des tiges, des longueurs de pétiole et de lobe central de taille moyenne. Ce groupe renferme également des variétés avec des hauteurs de tiges, un nombre de racines tubéreuses par pied, un poids de racines tubéreuses par pied et des rendements élevés.

3-4-3. Analyse factorielle discriminante (AFD)

L'Analyse factorielle discriminante (AFD) a été réalisée afin d'apprécier la pertinence des groupes formés avec la CAH. Le tableau 5 montre les caractéristiques des groupes issus de la CAH. L'analyse de ce tableau montre que les différentes variables discriminent bien les trois groupes. Les axes 1 et 2 de l'analyse factorielle discriminante (Figure 4) représente respectivement 97,63 % et 2,37 %. La projection des groupes dans le plan factoriel 1-2 confirme une classification des 15 variétés par la CAH.

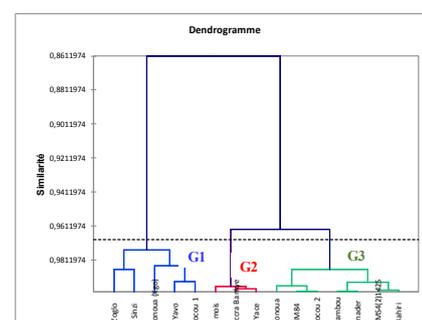


Figure 3 : Dendrogramme issu de la Classification Hiérarchique Ascendante (CAH) des 15 variétés de *M. esculenta* cultivées en Côte d'Ivoire

Tableau 5 : Caractéristiques des groupes issus de la Classification Hiérarchique Ascendante (CHA)

Groupes	Variables							
	HARAMI	NDLO	LLOC	LPE	HPL	NTP	PTP	RDY
1	167,178a	6,133b	15,467a	20,233a	189,644c	4,867c	1,520c	15,200c
2	30,519c	5,852c	12,567c	15,037c	222,185b	5,741b	1,789b	17,889b
3	86,206b	6,778a	13,238b	17,698b	227,349a	6,048a	1,995a	19,952a

HARAMI : hauteur de la première ramification ; NDLO : Nombre de lobe ; LLOC : longueur du lobe central ; LPE : longueur du pétiole ; HPL : hauteur de la plante ; NTP : nombre de racines tubéreuses par pied ; PTP : poids de racines tubéreuses par pied ; RDY : Rendement. Les moyennes suivies des mêmes lettres à l'intérieur d'une colonne ne sont pas significativement différentes à 5 % selon le test de Newman-Keuls.

4. Discussion

L'étude de l'évaluation agromorphologique des variétés de manioc cultivées en Côte d'Ivoire en zone marginale de production a montré une forte variabilité via les caractères étudiés (Hauteur de la première ramification, nombre de lobe, longueur du lobe central, longueur du pétiole, hauteur de la plante, nombre de racines tubéreuses par pied, poids de racines tubéreuses par pied et rendement). L'analyse en composante principale (ACP) a confirmé cette variabilité à hauteur de 81,81 % et la classification hiérarchique ascendante (CHA) a permis de structurer les variétés en 3 groupes de diversité morphologique. Cette diversité variétale pourrait s'expliquer par la forte hétérozygotie au sein des variétés de manioc. Ces résultats sont en accord avec les recherches de Soro *et al.* (2024), lorsqu'ils ont constaté que beaucoup de variétés cultivées de manioc étaient hétérozygotes. Les variables quantitatives utilisées dans cette étude, permettent de bien discriminer les variétés. En effet, des différences hautement significatives ont été mise en évidence ($p < 0,001$) entre les variétés avec ces variables. Nos résultats se rapprochent de ceux obtenus par Kouakou *et al.* (2023) qui se sont servis des caractères comme la hauteur de la première ramification, le nombre de lobe, la longueur du lobe central, la longueur du pétiole, la hauteur de la plante, le nombre de racines tubéreuses par pied et le poids de racines tubéreuses par pied pour mettre en évidence une diversité génétique entre 200 accessions collectées dans cinq régions de la Côte d'Ivoire. Les fortes corrélations entre le nombre et le poids des racines tubéreuses ont aussi été trouvées par Agahiu *et al.* (2011). Ces résultats sont similaires avec ceux obtenus sur le manioc au Burkina Faso (Gmakouba *et al.*, 2018), au Ghana (Kumba, 2012), en Côte d'Ivoire (Djaha *et al.*, 2017) et en Centrafrique (Ephrem *et al.*, 2014). Les corrélations significatives dans notre étude entre les variables hauteur moyenne de la plante et nombre des racines tubéreuses par pied et celle entre longueur du lobe central et longueur du pétiole sont en accord avec ceux obtenus par Ntawuruhunga and Dixon (2010) et Kouakou *et al.* (2023). La classification ascendante hiérarchique réalisée avait mise en évidence trois groupes morphologiques (G1, G2 et G3), dont le Groupe 3 renferme des variétés avec un nombre de racines tubéreuses par pied, un poids de racines tubéreuses par pied et des rendements élevés. Des résultats similaires ont été obtenus par N'Zué *et al.* (2014) en caractérisant 159 accessions de manioc provenant du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire en 3 groupes. Nos résultats corroborent aussi ceux obtenus par Djaha *et al.* (2017) et Kouakou *et al.* (2023) qui ont étudié respectivement la diversité génétique de 44 et 200 accessions de manioc collectées dans différentes zones agroécologiques. L'évaluation agromorphologique des 15 variétés de manioc a permis de mettre en évidence des variétés avec un rendement élevé dans les conditions sèches ou dans les conditions de zones marginales de production. Des variétés adaptées à

toutes les zones de production permettent de produire du manioc à haut rendement malgré les conditions et contribuer à l'amélioration de la sécurité alimentaire. Au cours de notre étude, 73 % (11) des variétés ont eu un rendement supérieur à 10 t.ha-1. Cela indique que certains géotypes peuvent être des candidats potentiels pour la production du manioc en zones sèches. D'autant plus, que ces rendements sont supérieurs au rendement moyen au niveau national qui est inférieur à 10 t.ha-1 (Perrin, 2015). Les variétés améliorées comme TMS4(2)1425 (33,22 t.ha-1), IM 84 (32,44 t.ha-1) et Yavo (31,66 t.ha-1) ont eu les rendements les plus élevés. Ces résultats sont en accord à ceux de N'zué *et al.* (2004) et Bakayoko *et al.* (2012) où les auteurs ont montré que les variétés améliorées de manioc ont produit des rendements significativement supérieurs aux variétés locales, lors des essais réalisés dans les régions d'Abengourou (Est de la Côte d'Ivoire), Touba (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire) et à Bringakro (Centre de la Côte d'Ivoire). Le groupe 3 possède les variétés avec un rendement élevé (19, 95 t.ha-1), suivit du groupe 2 (17, 89 t.ha-1) et du groupe 1 (15, 20 t.ha-1). Dans l'ensemble, plusieurs variétés connues et évaluées dans les conditions sèches ont assuré un rendement moyen comparable aux rendements en zones de production et en station expérimentale. Cela pourrait s'expliquer d'une part, par le fait que le manioc est considéré comme tolérant à la sécheresse (El-sharkawy, 1993), et d'autre part, notre essai a été installé à la station de recherche du jardin botanique de l'Université Peleforo GON COULIBALY (UPGC) à Korhogo sur une parcelle en jachère et dans les conditions de basfond. En effet, les conditions de basfond garantissent une certaine humidité du sol favorable au développement des plantes surtout en période sèche et de faible pluviométrie. Aussi, aucune maladie, ni ravageurs (Mosaique africaine, Anthracnose, Acariens, Cochenilles, etc.) n'ont été observés sur les plants durant l'expérimentation qui pourraient entraver le bon développement des variétés.

5. Conclusion

L'étude de l'évaluation agromorphologique des variétés de manioc en zone marginale de production a montré une forte variabilité entre celle-ci et a permis de mettre en évidence des candidats potentiels pour la culture en zones sèches. Les 15 variétés ont été structurées en 3 groupes (G1, G2 et G3) sur la base de la hauteur de la première ramification, le nombre de lobe, la longueur du lobe central, la longueur du pétiole, la hauteur de la plante, le nombre de racines tubéreuses par pied, le poids de racines tubéreuses par pied et le rendement. Les variétés du groupe 3 ont eu des rendements autour de 20 t.ha-1. Ces variétés présentent un réel atout pour le monde paysan et des géniteurs potentiels pour un programme de création variétale de variétés à haut rendement en Côte d'Ivoire. Ce travail ouvre ainsi la voie à une intensification de la production du manioc en Côte d'Ivoire par l'identification de variétés à haut rendement adaptables à toutes les zones de production.

Références

- Agahiu A., Bayeri K. and Ogbuyi R. (2011). Correlation analysis of tuber of yied in cassava morphological types grown under nine weed management. *Journal of Applied Biosciences*, 48 : 3316-3321.
- Akanza K. and Yao-Kouamé A. (2011). Fertilisation organominérale du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) et diagnostic des carences du sol. *Journal of Applied Biosciences*, 46, pp.3163 3172.

- Agré A., Dansi A., Rabbi I., Battachargee R., Dansi M. and Melaku G. (2015). Agromorphological characterization of elite cassava (*Manihot esculenta* Crantz) cultivars collected in Benin. *International Journal of Current Research in Biosciences and Plant Biology*, 2(2): 1-14.
- Avivi S., Sanjaya B.R.L., Ogita, S., Hartatik S. and S. Soeparjono, S. (2020). Morphological, physiological and molecular responses of Indonesian cassava to drought stress," *Australian Journal of Crop Science*, vol. 14, no. 14, pp. 1723–1727.
- Bakayoko S., Kouadio K.K.H., Soro D., Tschannen A., Nindjin C., Dao D. and Girardin O. (2012). Rendements en tubercules frais et teneurs en matière sèche de soixante-dix nouvelles variétés de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) cultivées dans le centre de la Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, Vol. 14, Issue 2 : 1961-1977.
- Dabin B., Leneuf N. and Riou G. (1960). Carte pédologique de la Côte d'Ivoire 1/2 000 000, Notice explicative, ORSTOM, Abidjan 39 p.
- Ridwan Diaguna R., Suwanto, Edi Santosa E., Hartono A., Pramuhadi G., Nuryartono N. Yusfiandayani R. and Prartono T. (2022). Morphological and Physiological Characterization of Cassava Genotypes on Dry Land of Ultisol Soil in Indonesia. *International Journal of Agronomy* Volume 2022, Article ID 3599272, 11 p.
- Djaha K.E., Abo K., Bonny B.S., Kone T., Amouakon W.J.L., Kone D. and Kone M. (2017). Caractérisation agromorphologique de 44 accessions de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) cultivés en Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 11(1): 174-184.
- Ephrem K.K., Semihinva A., Woegan Y.A., Abalo A., Duval M.F. and Dourma M. (2014). Diversité agromorphologique de *Manihot esculenta* Crantz (Euphorbiaceae) cultivée dans trois zones agroclimatiques en République Centrafricaine. *European Scientific Journal*, 10(3): 1857-1881.
- El-sharkawy M.A. (1993). Drought-tolerant cassava for Africa, Asia, and Latin America, *BioScience*, vol. 43, no. 7 pp. 441–451.
- Faostat (2022). Statistique de l'organisation des nations unies pour l'alimentation. Production en Côte d'Ivoire
- Fukuda W.G., Guevara C., Kawuki R. and Ferguson M. (2010). Selected Morphological and Agronomic Descriptors for the Characterisation of Cassava. IITA Éd.: Ibadan, Nigeria; 19p.
- Gmakouba T., Koussao S., Traore E.R., Kpemoua K.E., Zongo J.D. (2018). Analyse de la diversité agromorphologique d'une collection de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 12(1): 402-421.
- Kouadio H.K., Kone A.W., Toure G.P.T., Abobi H.D.A., Konan L.N., Assi J.A., N'guessan D.J.A., Yapo G.R., Dibi B.E. and Masse D. (2023). Amélioration du rendement du manioc (*manihot esculenta* crantz) par la jachère mixte *chromolaena odorata-cajanus cajan* au Centre de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine* 35 (1) : 63 – 74.
- Kouakou D.A., Koffi K.K., Angui C.M.V, Komenan A.O., Arsène I. and Zoro Bi A. (2023). Agro morphological variability of cassava varieties cultivated in five regions of Côte d'Ivoire based on quantitative traits. *Journal of Applied Biosciences*, 181, 18962– 18973.
- Kumba V. (2012). Genetic characterization of exotic and landraces of cassava in Ghana. M.Sc. thesis, University of Science and Technology, Dept. Plant Breeding, Kumasi, p.111.
- Macrae R., Robinson, R.I.C. and Sadler M.J. (1993). *Encyclopaedia of food science, food technology and nutrition*. Vol. 1. New York, USA : Academic Press.
- Mendez del Villar P., Adaye A., Tran T., Allagba K. and Bancal V. (2017). Analyse de la chaîne de Manioc en Côte d'Ivoire. Rapport pour l'Union Européenne, DG-DEVCO. Value Chain Analysis for Development Project (VCA4D CTR 2016/375-804), 157p.
- N'Zué B., Okana M., Kouakou A., Dibi K., Zouhouiri G. and Essis B. (2014). Morphological characterization of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) accessions collected in the centre-west, south-west and west of Côte d'Ivoire. *Greener Journal of Agricultural Sciences*. 4(6): 220-231.
- N'Zué B., Zouhouiri P.G. and Sangare A. (2004). Performances agronomiques de quelques variétés de manioc (*manihot esculenta* crantz) dans trois zones agroclimatiques de la cote d'ivoire. *Agronomie Africaine* 16 (2): 1 – 7.
- Ntawuruhunga P. and Dixon A. (2010). Quantitative variation and interrelation ship between factors influencing cassava yield. *Journal of Applied Biosciences*, 26 : 1594-1602.
- Perrin A. (2015). Etude de la filière Manioc en Côte d'Ivoire, 87p
- Soro M., Zida S.M.F.W.P., Some K., Tiendrebeogo F., Otron D.H., Pita J.S., Neya J.B. and Kone D. (2024). Estimation of Genetic Diversity and Number of Unique Genotypes of Cassava Germplasm from Burkina Faso Using Microsatellite Markers. *Gènes*, 15, 73.
- Thiémélé D.E.F., Kone D., Kone M.T. and Diarrassouba N. (202). Effet des substrats sur la croissance et le développement de vivoplants de bananiers plantain (*musa* sp.) en zone marginale de production au nord de la côte d'ivoire (korhogo). *Afrique science* 23(4), 72-85.
- Vernier P., N'Zué B. and Zakhia-Rozis N. (2018). Le manioc, entre culture alimentaire et filière agro-industrielle. Editions Quae-CTA, 208 p. (Agricultures tropicales en poche) ISBN 978-2-7592-2707-5

